

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.111.02>

Сергій ВИЖВА¹, д-р. геол. наук, проф., чл.-кор. НАН України
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Віктор ОНИЩУК¹, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-2301-2202
e-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua

Іван ОНИЩУК¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0009-0004-0186-7578
e-mail: ivan.onyshchuk@knu.ua

Микола РЕВА¹, канд. фіз.-мат. наук, доц.
e-mail: mvreva@gmail.com

Олександр ШАБАТУРА¹, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-0810-3701
e-mail: oshabatura@knu.ua

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ КАРБОНАТНИХ ПОРІД ГНІДИНЦІВСЬКОГО НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА ГЛИНСЬКО-СОЛОХІВСЬКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РАЙОНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф., член-кор. НАНУ Михайлом ОРЛЮКОМ)

Вступ. Висвітлено результати визначення електричних параметрів карбонатних порід верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища Глинсько-Солохівського газоконденсатного району з метою комплексного аналізу їх фізичних властивостей.

Методи. Виконано короткий петрографічний опис вапняків. Визначено питомий електричний опір та відносну діелектричну проникність. Для визначення цих параметрів застосовувалась лабораторна електрометрична установка на базі прецизійного RLC-метра МНС-1100 та спеціального кернотримача.

Результати. Досліджено такі електричні характеристики зразків порід, як питомий і відносний (параметр пористості) електричний опір та відносна діелектрична проникність.

Наведено межі змін та середні значення цих параметрів для досліджених порід.

Висновки. За допомогою кореляційного аналізу встановлено ряд кореляційних залежностей між фільтраційно-ємнісними властивостями досліджених порід та електричними параметрами в атмосферних і пластових умовах. Ці залежності можуть бути використані при інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин та моделюванні фільтраційно-ємнісних параметрів карбонатних порід-колекторів.

Ключові слова: вапняки, питомий електричний опір, відносний електричний опір, відносна діелектрична проникність, кореляційні залежності.

Вступ

Постановка проблеми. Поклади вуглеводнів в карбонатних колекторах посідають особливе місце серед джерел видобутку нафти та газу. Вони часто представлені слабопроникними, низькопористими гірськими породами (Михайлов та ін., 2014). Наявність карбонатних покладів вуглеводнів встановлено в багатьох регіонах світу, в тому числі в Україні (Дніпровсько-Донецька западина, далі – ДДЗ). Карбонатні породи в деяких регіонах містять значну кількість органіки й можуть слугувати як материнськими породами, так і колекторами газу. Новітні технології видобутку газу на основі гідророзриву пласта змінили ставлення до цих відкладів. З багатих органікою карбонатних порід можна добувати газ у великих обсягах і з економічно прийнятною за нинішніх умов собівартістю.

Карбонатні колектори за цілою низкою ознак відрізняються від теригенних порід традиційних родовищ нафти та газу. Для карбонатних колекторів характерне регіональне поширення.

При вивченні карбонатних колекторів важливу роль відіграють геофізичні та петрофізичні дослідження, а також математичне моделювання, на основі яких

визначаються напрямки горизонтального стовбура свердловини і параметри гідророзриву пласта.

У статті висвітлено електричні параметри карбонатних порід, представлених мікрито-спаритовими та доломітованими піщанистими вапняками верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища Глинсько-Солохівського газоконденсатного району (ГКР). Характеристика фізичних властивостей цих порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ карбонатних колекторів, що зумовлює актуальність їх петрофізичного вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України присвячена низка публікацій (Вижва та ін., 2019; 2020а; 2020б; 2021; Iuras et al., 2023; Карпенко та ін., 2014; 2015; Маслов, Оніщук, & Шинкаренко, 2017; Михайлов, Вижва, & Загнітко, 2014; Орлюк, & Друкаренко, 2013; Орлюк, & Пашкевич, 2011; Orlyuk et al., 2018; Пашкевич, Орлюк, & Лебедь, 2014; Садівник та ін., 2013; Соболев, & Карпенко, 2021; Старостенко, & Русаков, 2015; Vyzhva et al., 2017) та багатьох інших авторів. Петрофізичні параметри порід мають важливе

значення для оцінки їх колекторських властивостей за даними свердловинних електрометричних та акустичних досліджень, тому їх лабораторним дослідженням приділяється значна увага. При цьому петрофізичні параметри порід і кореляційні залежності між ними мають досить виражений індивідуальний характер щодо кожної ділянки досліджень. Отже, лабораторне визначення цих властивостей та встановлення відповідних кореляційних зв'язків між ними для кожної перспективної площі потребують виконання як окремих досліджень, так і окремого публічного висвітлення їх результатів.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. На сучасному етапі проблема пошуків та вивчення карбонатних джерел вуглеводнів на території України є надзвичайно актуальною, зважаючи на ситуацію з енергоносіями у світі. Тому вивчення петрофізичних властивостей гірських порід з метою оцінки перспективності геологічних структур і комплексів на вуглеводні має важливе значення. Як вже зазначалося, петрофізичні властивості порід необхідні для інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень свердловин, а також при оцінці параметрів гідророзриву пласта.

Незважаючи на значну кількість відповідних публікацій, для карбонатних порід практично відсутні дані їх лабораторних електрометричних досліджень і кореляційних залежностей між фільтраційно-ємнісними та електричними параметрами для конкретних площ і утворень. Слід відзначити, що петрофізичні дослідження були спрямовані переважно на вивчення теригенних порід-колекторів і на даному етапі петрофізичні параметри карбонатних порід слабо вивчені.

Мета досліджень – оцінка електричних властивостей карбонатних порід-колекторів верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища Глинсько-Солохівського ГКР як основи комплексного аналізу їх фізичних властивостей.

Встановлено, що кореляційні зв'язки між ємнісно-фільтраційними та електричними параметрами, а також даними свердловинних і польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Комплекс лабораторних петрофізичних досліджень є основою для визначення цих зв'язків. Дані, отримані в результаті лабораторних досліджень про зміни їх питомого електричного опору та їх кореляційні зв'язки із фільтраційно-ємнісними параметрами, використовуються для інтерпретації результатів електрометричних методів досліджень свердловин і польової електророзвідки.

Методи

Експериментальні дослідження виконано в науково-дослідній лабораторії теоретичної і прикладної геофізики (НДЛ ТПГ) ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка. Комплекс петрофізичних досліджень включав визначення: густини порід; відкритої та ефективної пористості; структури капілярного простору; питомого електричного опору; швидкості пружних хвиль в атмосферних і пластових умовах (Вишва та ін., 2019, 2020 б, 2021; Vyshva, Onyshchuk, & Onyshchuk, 2017). Виконано також петрографічні дослідження. Усі лабораторні вимірювання виконувалися відповідно до чинних нормативних документів.

У статті наведено результати комплексних досліджень електричних властивостей колекції із 44 зразків карбонатних порід верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища Глинсько-Солохівського ГКР. Досліджені породи представлені мікрито-спаритовими та доломітизованими піщанистими вапняками із свердловин 250, 278, 280 (інтервал глибин 1760–1900 м).

За матеріалами петрографічних досліджень встановлено, що зверху інтервалу залягають тонкокристалічні (спаритові) та пелітоморфні (мікритові) слабодоломітизовані вапняки, які включають малопотужні прошарки піщанистих чи алевролітистих вапняків, або несорттованих пісковиків. Кількість та розмір теригенного матеріалу мінлива, окремі зерна досягають розміру грубого псамітового, а пелітоморфний кварц є невід'ємною складовою мікритових відмін (у т. ч. і у спаритах), де він асоціює із глинистою (сметитовою) складовою. Головними ознаками вказаних відмін є забарвлення окремих шарів і прошарків, яке спричинене вмістом у них сметитової складової зеленуватого кольору. Виділяються сірі, іноді злегка буруваті спарити, зеленувато-сірі мікрито-спарити, зелені мікрити та їх світло-сірі, майже білі відміни. Шари та прошарки характеризуються непаралельними, хвилястими, хмароподібними та лінзоподібними обмеженнями.

Нижню частину дослідженого інтервалу складають доломітизовані піщанисті вапняки, в яких власне доломіт разом із теригенною фракцією становить зернисту масу, що цементується мікритовим карбонатом із глинистою речовиною, де ділянки із базальним типом цементациї вміщують до 60 % кристалів доломіту. Іноді в породах трапляються плями нафти.

Породи, що описуються, характеризуються наявністю міжзернових пор розміром 0,01–0,03 мм, що часто не сполучаються між собою. Їх внутрішня поверхня і контури підпорядковані численним граням ромбоєдрів, що не зрослися між собою. Досить слабка проникність різних відмін вапняку пов'язується з наявністю павутинної системи міжзернових тріщин, які дуже часто виповнюються аморфною глинистою колоїдогенною речовиною, або тектонічних тріщин, які частково виповнені перевідкладеним мікритом, або кірочками кальциту.

Відклади формувалися, вірогідно, в середньоглибинній частині шельфу, де осідав планктон, про що свідчать біоморфні рештки, які становлять основу перекристалізованих спаритових і мікрит-спаритових відмін. В області формування тонкозернистих біоморфних карбонатних осадків періодично поступав теригенний несорттований матеріал (можливо шторміти), або перенесений придонними течіями, які привносили в більш глибоководні ділянки разом із теригенним матеріалом фрагменти слабokonсолідованих (можливо водоростями) сметитових кірочок. Осадки носять трансгресивний характер: знизу угору по розрізу спостерігається зменшення потужності та кількості теригенних прошарків. Відзначені текстури опливання осадків формувалися в середині пласта за рахунок неоднорідного літостатичного тиску на діагенетичній стадії після формування кристалів та мікроконкрецій сульфідів. Доломітизація носила вибіркового характеру. Вона більш інтенсивно проходила по біоморфних рештках, мінімально – по кальцитовому мікриту. Швидше за все, доломітизація вапняків відбувалася на епігенетичній стадії після (або під час) формування кліважної тріщинуватості. Проте додаткової пористості в цій ділянці розрізу не виникло, у зв'язку із можливим заліковуванням пор та тріщин сметитом і пелітоморфним карбонатом.

За класифікацією Дахнова ці породи належать до III класу колекторів (Дахнов, 1975).

Методика електрометричних лабораторних досліджень. Лабораторні електрометричні вимірювання сухих і насичених гасом та моделлю пластової води зразків керн виконано за допомогою RCL-метра МНС-1100. Прилад дає змогу виконувати високоточні вимірювання електричного опору та діелектричної проникності за

двохелектродною схемою із цифровим записом результатів вимірювань на ЕОМ за спеціальною програмою (Вижва та ін., 2019; 2020 а,б; 2021; Vyzhva, Onyshchuk, & Onyshchuk, 2017). Циліндричні зразки під час вимірювання поміщались у спеціальний кернотримач, розроблений у НДП теоретичної і прикладної геофізики.

Досліджено зміни питомого електричного опору за різного ступеня відгонки води на центрифугі ОС-6М, з метою визначення залежності петрофізичних параметрів від водонасичення порід. У процесі цих досліджень виконано серію вимірювань електричного опору й швидкості пружних хвиль зразків порід, насичених моделлю пластової води, до їх центрифугування та після центрифугування за режимів відгонки від 1000 до 6000 об/хв із кроком 1000 об/хв, що відповідає діапазону зміни тиску витіснення води від 0 до 1 МПа (7 циклів вимірювань).

Паралельно визначалися також коефіцієнти водонасичення порід.

З метою встановлення кореляційного зв'язку між електричними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано відповідний комплекс лабораторних петрофізичних досліджень у змодельованих пластових умовах (температура $t=50\text{ }^{\circ}\text{C}$; ефективний тиск $p_{\text{еф}}=30\text{ МПа}$; мінералізація пластової води $M=190\text{ г/л}$).

Середня відносна похибка визначення електричного опору порід у рамках виконаних досліджень становила 3,3 %.

Результати

Аналіз даних електрометричних досліджень в атмосферних умовах. У результаті лабораторних вимірювань визначено електричні параметри досліджених карбонатних порід, дані про межі змін та середні значення яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Межі змін і середні значення електричних параметрів порід в атмосферних умовах

між змін і середні значення електричних параметрів порід в атмосферних умовах									
№	Породи	Значення параметра	Атмосферні умови						
			Питомий електричний опір, Ом·м			Відносний електричний опір, Р	Діелектрична проникність		
			сухих	насичені гасом	насичених розчином NaCl		сухих	насичені гасом	насичених розчином NaCl
1	Мікрито-спаритові вапняки	мін.	14826	44478			10,8	3,1	
		макс.	358639	1075917			41,8	9,7	
		сер.	62713	188138			25,9	5,2	
2	Доломітизовані піщанисті вапняки	мін.	111953	307687	1,11	13,5	3,0	2,8	566
		макс.	12146665	14449461	2,65	32,3	7,5	4,9	9565
		сер.	1542135	3640258	1.69	20.7	4.2	3.8	3898

Лабораторними електрометричними вимірюваннями в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір (ПЕО) мінерального скелета порід (ПЕО сухих екстрагованих зразків) змінюється: для мікрито-спаритових вапняків – від 14,826 до 358,639 кОм·м за середнього значення 62,713 кОм·м; для доломітизованих піщанистих вапняків – від 111,953 кОм·м до 12,147 МОм·м за середнього значення 1,542 МОм·м. Зразки доломітизованих піщанистих вапняків, насичені моделлю пластової води (розчин NaCl з $M=190\text{ г/л}$), мають ПЕО від 1,11 до 2,65 Ом·м за середнього значення 1,7 Ом·м.

Відносний електричний опір порід (параметр пористості Р) – відношення питомого опору повністю насиченої породи ($\rho_{\text{пв}}$) до питомого опору насичувального розчину ($\rho_{\text{в}}$): $P=\rho_{\text{пв}}/\rho_{\text{в}}$ (Дахнов, 1975; Tiab, & Donaldson, 2015) є важливим інформаційним параметром, який широко використовується при геофізичних дослідженнях свердловин (ГДС) електрометричними методами. В результаті виконаних електрометричних досліджень встановлено, що відносний електричний опір доломітизованих піщанистих вапняків змінюється від 13,5 до 32,3 за середнього значення 20,7.

Встановлено кореляційну залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п}}$) і відносним електричним опором для доломітизованих піщанистих вапняків, яка апроксимується рівнянням $P = a \cdot k_{\text{п}}^{-m}$, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник (Дахнов, 1975; Tiab, & Donaldson, 2015):

$$P = 0,8921 \cdot k_{\text{п}}^{-1,529}, \text{ при } R^2 = 0,78.$$

Графік цієї залежності наведено на рис. 1.

Параметр збільшення електричного опору (параметр насичення $P_{\text{н}}$) – відношення питомого опору частково водонасичених порід ($\rho_{\text{чв}}$) до питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{\text{пв}}$): $P_{\text{н}}=\rho_{\text{чв}}/\rho_{\text{пв}}$ (Дахнов, 1975; Tiab & Donaldson, 2015) є важливою геоелектричною характеристикою порід-колекторів. У результаті експериментальних

лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М і статистичного аналізу даних електрометричних вимірювань отримано кореляційну залежність параметра Р_н від коефіцієнта водонасичення ($k_{\text{в}}$) для доломітизованих піщанистих вапняків, яка апроксимується рівнянням $P_{\text{н}} = b \cdot k_{\text{в}}^{-n}$, де b – постійний коефіцієнт, n – показник змочуваності, що залежить від ступеня гідрофобності зерен породи (Дахнов, 1975; Tiab, & Donaldson, 2015). Ця залежність для досліджених порід описується степеневим рівнянням

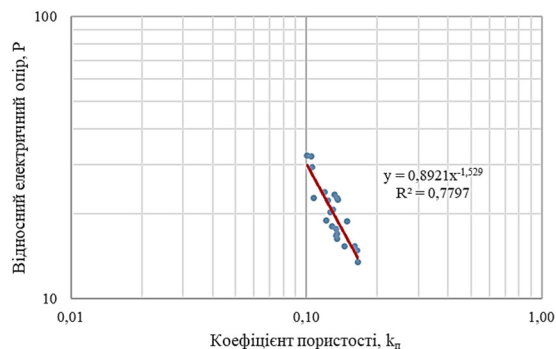


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п}}$) та відносним електричним опором (Р). Доломітизовані піщанисті вапняки

$$P_{\text{н}} = 1,1988 \cdot k_{\text{в}}^{-1,801}, \text{ при } R^2 = 0,974.$$

Графік наведеної залежності представлено на рис. 2.

Електричні властивості середовища також можуть бути охарактеризовані діелектричною проникністю, яка є інформативним параметром при вивченні діелектриків і напівпровідників, до яких належить більшість гірських порід. Виділяють відносну, абсолютну і діелектричну проникність вакууму (ϵ , $\epsilon_{\text{а}}$, $\epsilon_{\text{о}}$), між якими існує таке співвідношення: $\epsilon=\epsilon_{\text{а}}/\epsilon_{\text{о}}$. Цей параметр широко

використовується при розв'язанні широкого класу задач (Дахнов, 1975; Tiab, & Donaldson, 2015).

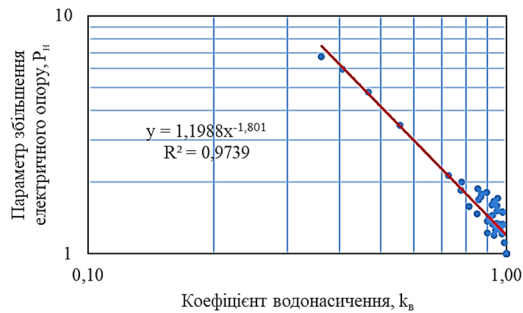


Рис. 2. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_e) та коефіцієнтом водонасичення (k_w). Доломітизовані піщанисті вапняки

У процесі лабораторних досліджень визначено відносну діелектричну проникність (ϵ) досліджених вапняків з різним ступенем насичення (табл. 1).

Лабораторними електрометричними вимірюваннями в атмосферних умовах встановлено, що діелектрична проникність (ДП) мінерального скелета порід (ДП сухих екстрагованих зразків) змінюється: для мікріто-спаритових вапняків – від 10,8 до 41,8 за середнього значення 25,9; для доломітизованих піщанистих вапняків – від 3 до 7,5 за середнього значення 4,2. Зразки мікріто-спаритових вапняків, насичені гасом, мають ДП від 3,1 до 9,7 за середнього значення 5,2, а доломітизовані піщанисті вапняки характеризуються значеннями ДП від 2,8 до 4,9 за середнього значення 3,8. Зразки доломітизованих піщанистих вапняків, насичені моделлю пластової води, мають ДП від 566 до 9565 за середнього значення 3898. Слід відзначити, що діелектрична проникність скелета (сухий стан) мікріто-спаритових вапняків перевищує в

3,6–6 разів цей параметр доломітизованих піщанистих вапняків, при практичній рівності його в насичених гасом породах (табл. 1).

Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтами: пористості (k_n), ефективною пористості ($k_{n,ef}$), залишкового нафтонасичення (k_{zn}) і діелектричною проникністю (ϵ) для мікріто-спаритових і доломітизованих піщанистих вапняків, насичених гасом, які апроксимуються степеневу функцією.

Для мікріто-спаритових вапняків:

$$k_n = 0,22911 \cdot \epsilon^{-0,33476},$$

при $R^2 = 0,715$ – залежність $k_n = f(\epsilon)$,

$$k_{n,ef} = 0,2488 \cdot \epsilon^{-1,132},$$

при $R^2 = 0,809$ – залежність $k_{n,ef} = f(\epsilon)$,

$$k_{zn} = 0,36765 \cdot \epsilon^{0,37413},$$

при $R^2 = 0,719$ – залежність $k_{zn} = f(\epsilon)$.

Для доломітизованих піщанистих вапняків:

$$k_n = 0,40589 \cdot \epsilon^{-0,88037},$$

при $R^2 = 0,751$ – залежність $k_n = f(\epsilon)$,

$$k_{n,ef} = 3,70798 \cdot \epsilon^{-3,52258},$$

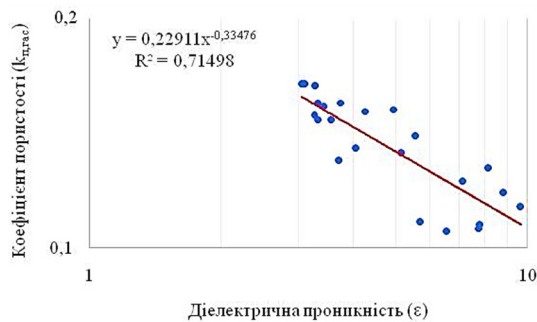
при $R^2 = 0,922$ – залежність $k_{n,ef} = f(\epsilon)$,

$$k_{zn} = 0,11316 \cdot \epsilon^{1,33163},$$

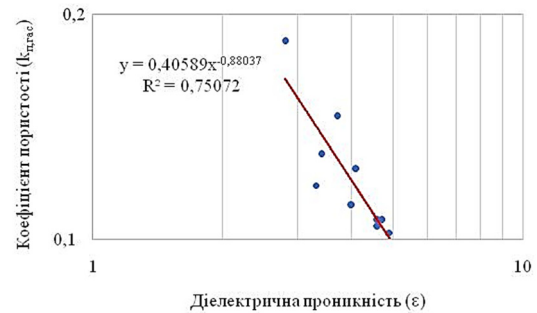
при $R^2 = 0,796$ – залежність $k_{zn} = f(\epsilon)$.

Графіки цих залежностей наведено на рис. 3–5.

Фізичне моделювання пластових умов. Виконано комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000М з метою визначення питомого та відносного електричного опорів порід у пластових умовах ($p_{ef} = 30$ МПа, $t = 50^\circ\text{C}$; $M = 190$ г/л). Вимірювання виконувались на зразках, насичених моделлю пластової води (розчином NaCl). Фізичне моделювання пластових умов проведено на 8 зразках доломітизованих піщанистих вапняків. Межі змін і середні значення питомого й відносного електричного опорів порід у пластових умовах наведено в табл. 2.

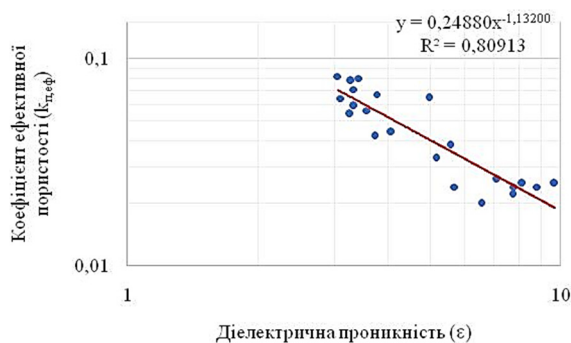


а

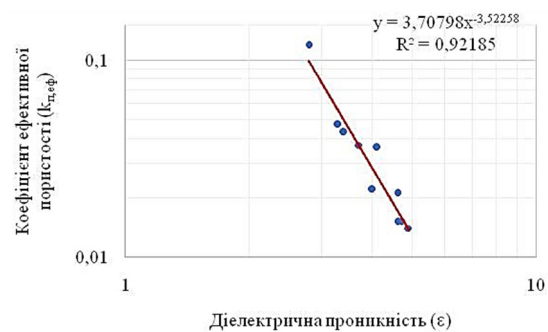


б

Рис. 3. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та діелектричною проникністю (ϵ): а) мікріто-спаритові вапняки; б) доломітизовані піщанисті вапняки



а



б

Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом ефективною пористості ($k_{n,ef}$) та діелектричною проникністю (ϵ): а) мікріто-спаритові вапняки; б) доломітизовані піщанисті вапняки

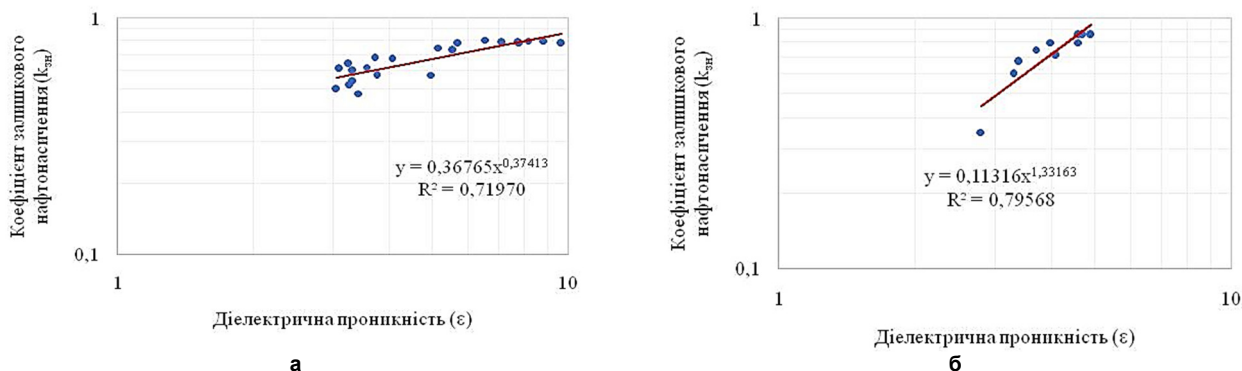


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтом залишкового водонасичення (k_{zn}) та діелектричною проникністю (ϵ): а) мікріто-спаритові вапняки; б) доломітизовані піщаністі вапняки

Таблиця 2

Межі змін і середні значення електричних параметрів доломітизованих піщаних вапняків у пластових умовах

№	Порода	Значення параметра	Питомий електричний опір, $\rho_{пл}$, Ом-м	Відносний електричний опір, P
1	Доломітизовані піщаністі вапняки	min	0,81	17,3
2		max	1,48	31,6
3		середнє	1,10	23,6

Зростання питомого електричного опору із збільшенням тиску від атмосферного до пластового пояснюється закриттям мікротріщин у породах та деформацією в них пустотного простору. Однак у разі збільшення температури від атмосферної до пластової, опір порід зменшується. Отже, маємо суперпозицію впливу двох різнонаправлених факторів на питомий електричний опір порід у пластових умовах.

При фізичному моделюванні встановлено, що питомий електричний опір досліджених вапняків у пластових умовах змінюється від 0,81 до 1,48 Ом-м за середнього значення 1,1 Ом-м. Відносний електричний опір вапняків у пластових умовах змінюється від 17,3 до 31,6 за середнього значення 23,6 (табл. 2).

За результатами комплексного аналізу даних лабораторних електрометричних вимірювань встановлено кореляційні залежності між питомим електричним опором в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах (рис. 6), між відносним електричним опором (параметром пористості) в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах (рис. 7) та між відносним електричним опором ($P_{пл}$) і коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) у пластових умовах (рис. 8).

Аналітичні вирази кореляційних залежностей, графіки яких зображено на рис. 6–8, наведено нижче:

$$\rho_{пл} = 0,8501 \rho - 0,2108, \text{ при } R^2 = 0,946;$$

$$P_{пл} = 1,4877 P - 4,5068, \text{ при } R^2 = 0,946;$$

$$P_{пл} = 1,689 k_{п,пл}^{-1,289}, \text{ при } R^2 = 0,6.$$

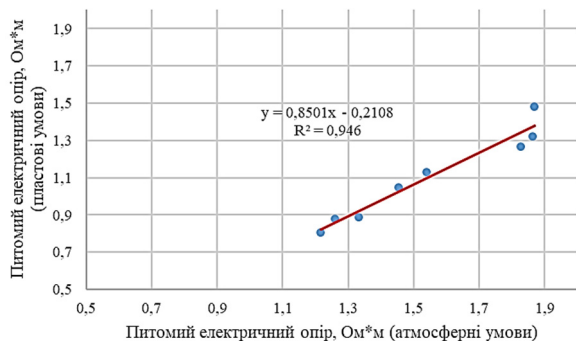


Рис. 6. Кореляційні залежності між питомим електричним опором порід в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах. Доломітизовані піщаністі вапняки

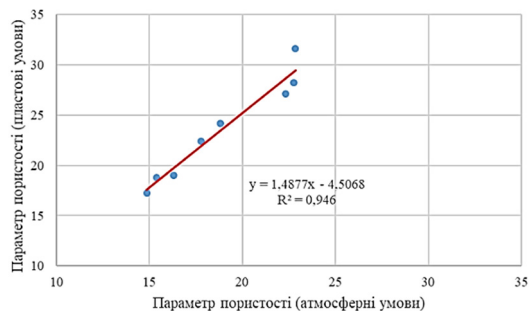


Рис. 7. Кореляційні залежності між параметром пористості (відносним електричним опором) порід в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах. Доломітизовані піщаністі вапняки

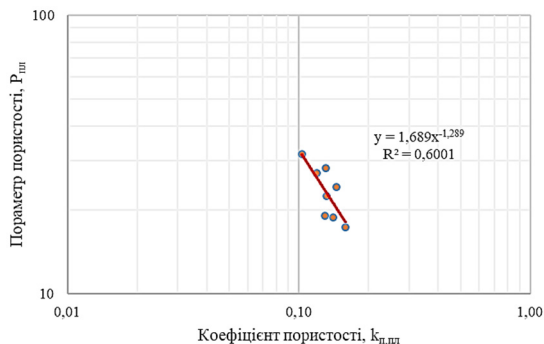


Рис. 8. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) й параметром пористості (відносним електричним опором, $P_{пл}$) порід в пластових умовах. Доломітизовані піщаністі вапняки

Кореляційні залежності між питомими та відносними електричними опорами в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражаються лінійною функцією (рис. 6–7), а між відносним електричним опором і коефіцієнтом пористості – степеневою функцією (рис. 8).

Встановлені кореляційні залежності, графіки яких наведено на рис. 6–8 та їх аналітичні вирази, дають змогу оцінювати електричні параметри порід, що перебувають у пластових умовах, за результатами їх лабораторного визначення в атмосферних умовах.

Дискусія і висновки

Лабораторні дослідження петрофізичних властивостей вапняків є актуальними щодо оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ. У статті висвітлено результати лабораторних досліджень електричних властивостей карбонатних порід верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища Глинсько-Солохівського ГКР в інтервалі глибин 1760–1900 м. Досліджені породи представлені мікрито-спаритовими та доломітизованими піщанистими вапняками.

Лабораторними електрометричними вимірюваннями встановлено, що питомий електричний опір мінерального скелета (опір сухих екстрагованих вапняків) змінюється: для мікрито-спаритових вапняків – від 14,826 до 358,639 кОм·м (середнє 62,713 кОм·м); доломітизованих піщанистих вапняків – 111,953 кОм·м до 12,147 МОм·м (середнє 1,542 МОм·м). Питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової рідини, змінюється. Зразки доломітизованих піщанистих вапняків, насичені моделлю пластової води, мають ПЕО від 1,11 до 2,65 Ом·м (середнє 1,7 Ом·м). Знижений електричний опір мікрито-спаритових вапняків порівняно з опором доломітизованих піщанистих вапняків пояснюється підвищенням вмістом рудних мінералів (сульфідів) у перших.

В результаті петрофізичних досліджень визначено відносний електричний опір доломітизованих піщанистих вапняків в атмосферних умовах, який змінюється від 13,5 до 32,3 (середнє 20,7). На основі цих даних встановлено кореляційно залежність між коефіцієнтом пористості і відносним електричним опором досліджених порід, що апроксимується степеневою функцією.

Електрометричні дослідження при центрифугуванні зразків доломітизованих піщанистих вапняків дали змогу встановити кореляційний зв'язок між параметром збільшення електричного опору і коефіцієнтом водонасичення, який виражається степеневою функцією.

Встановлено, що відносна діелектрична проникність мінерального скелета порід змінюється: для мікрито-спаритових вапняків – від 10,8 до 41,8 (середнє 25,9); для доломітизованих піщанистих вапняків – від 3 до 7,5 (середнє 4,2). Мікрито-спаритові вапняки, насичені гасом, мають ДП від 3,1 до 9,7 (середнє 5,2), а доломітизовані піщанисті вапняки характеризуються значеннями ДП від 2,8 до 4,9 (середнє 3,8). Доломітизовані піщанисті вапняки, насичені моделлю пластової води, мають ДП від 566 до 9565 (середнє 3898). Відзначається, що діелектрична проникність скелета (сухий стан) мікрито-спаритових вапняків перевищує в 3,6–6 разів цей параметр доломітизованих піщанистих вапняків, за практичної рівності його в насичених гасом породах, що пояснюється підвищенням вмістом рудних мінералів (сульфідів) у мікрито-спаритових вапняках.

Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтами: пористості, ефективної пористості, залишкового нафтонасичення і відносною діелектричною проникністю мікрито-спаритових і доломітизованих піщанистих вапняків, насичених гасом, які апроксимуються степеневою функцією.

В результаті фізичного моделювання пластових умов встановлено, що питомий електричний опір доломітизованих піщанистих вапняків змінюється від 0,81 до 1,48 Ом·м (середнє 1,1 Ом·м). Вимірювання питомого опору порід при різних тисках показали, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору електричний опір порід зростає із збільшенням тиску,

водночас залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору від тиску для досліджених порід виражається поліномом 2 порядку. Однак збільшення температури в пластових умовах призводить до зворотного процесу – опір зменшується. Тобто маємо суперпозицію впливу двох різнонаправлених факторів на питомий електричний опір порід у пластових умовах. Дослідженнями відносного електричного опору доломітизованих піщанистих вапняків у пластових умовах встановлено, що цей параметр змінюється від 17,3 до 31,6 (середнє 23,6).

Завдяки комплексному аналізу матеріалів електрометричних досліджень для порід встановлено кореляційні зв'язки між питомим електричним і відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах, а також між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором у пластових умовах. Залежність між питомим та відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією, а між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором – степеневою. Фізичне моделювання пластових умов дає змогу адаптувати значення електричних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що перебувають у пластових умовах.

Кореляційні залежності електричних параметрів із фільтраційно-ємнісними властивостями вапняків, отримані за результатами виконаних лабораторних петрофізичних досліджень, можуть бути основою для інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин порід верхнього карбону Гнідинцівського нафтогазоконденсатного родовища та суміжних площ.

Внесок авторів: Сергій Вижва – концептуалізація, методологія; Віктор Онишук – методологія, аналіз і обробка даних, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Іван Онишук – аналіз і обробка даних, валідація даних, написання (оригінальна чернетка); Микола Рева – методологія, аналіз і обробка даних, написання (оригінальна чернетка); Олександр Шабатура – програмне забезпечення, аналіз і обробка даних, формальний аналіз.

Подяки. Автори висловлюють щирі подяки ст. лаборанту Цуману В.С. за його активну й високопрофесійну участь у підготовці зразків і в лабораторних дослідженнях.

Джерела фінансування. Роботу виконано в рамках держбюджетної теми №24БП049-01.

Список використаних джерел

- Вижва, С. А., Онишук, В. І., Онишук, І. І., Рева, М. В., & Шабатура, О. В. (2019). Електричні параметри порід верхнього карбону Руновщинської площі ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(85), 37–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.85.05>
- Вижва, С. А., Онишук, В. І., Онишук, І. І., Рева, М. В., & Шабатура, О. В. (2020b). Електричні та акустичні параметри нижньопермських карбонатних порід західної частини Глинсько-Солохівського газонафтоносного району Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(89), 49–58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07>
- Вижва, С. А., Онишук, В. І., Онишук, І. І., Рева, М. В., Шабатура, О. В., & Олійник, О. В. (2020a). Фільтраційно-ємнісні параметри нижньопермських карбонатних порід західної частини Глинсько-Солохівського нафтогазового району Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(88), 25–33. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04>
- Вижва, С. А., Онишук, В. І., Орлюк, М. І., Онишук, І. І., Рева, М. В., & Шабатура, О. В. (2021). Електричні і пружні параметри ущільнених теригенних порід карбону східної частини північної приобтової зони ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(95), 25–33. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.95.03>
- Дахнов, В. Н. (1975). *Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород*. Недра.

Карпенко, О. М., Михайлов, В. А., & Карпенко, І. О. (2015). До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(68), 49–54. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.09.49-54>

Карпенко, О., Башкіров, Г., & Карпенко, І. (2014). Визначення вмісту органічної речовини в гірських породах за геофізичними даними. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(66), 71–76. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.66.12>

Маслов, Б. П., Онищук, І. І., & Шинкаренко, А. В. (2017). Моделювання нелінійних в'язко-пружних властивостей терригенно-вапняковистих пісковиків. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(77), 99–105. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13>

Михайлов, В. А., Вижва, С. А., & Загнітко, В. М. (2014). *Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Книга IV*. ВПЦ "Київський університет". http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mono_USHU/4-1_Eastern_Region.pdf

Орлюк, М. І., & Друкаренко, В. В. (2013). Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*, 35(2), 127–136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i2.2013.111356>

Орлюк, М. І., & Пашкевич, І. К. (2011). Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов. *Геофизический журнал*, 33(6), 136–151. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799>

Пашкевич, І. К., Орлюк, М. І., & Лебедь, Т. В. (2014). Магнитная неоднородность, разломная тектоника консолидированной земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена. *Геофизический журнал*, 36(1), 64–80.

Садівник, М. І., Федоришин, Д. Д., Трубенко, С. Д., & Федоришин, С. Д. (2013). Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід. У XII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти". Київ, Україна.

Соболь, В., & Карпенко, О. (2021). Нова модель проникності терригенних гранулярних колекторів на прикладі турнейських відкладів Яблунівського нафтогазоконденсатного родовища Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(92), 61–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09>

Старостенко, В. І., & Русаков, О. М. (2015). *Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины*. Галактика.

Iuras, S., Orlyuk, M., Levoniuk, S., Drukarenko, V., & Kruhlov, B. (2023). Unconventional shale gas potential of Lower Visean organic-rich formations in Glynsko-Solohivskiy petroleum region. *Geodynamics*, 1(34), 80–96. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.080>

Orlyuk, M. I., Drukarenko, V. V., Onyshchuk, I. I., & Solodkyi, I. V. (2018). The association of physical properties of deep reservoirs with geomagnetic field and fault-block tectonics in the Glyns'ko-Solokhiv'skiy oil-and-gas region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2(25), 77–88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>

Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2015). *Petrophysics. Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties* (4th ed.). Elsevier.

Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., & Onyshchuk, D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz*, LXXIII(2), 90–96. <https://doi.org/10.18668/NG.2017.02.03>

References

Dakhnov, V. N. (1975). *Geophysical methods for the determination of reservoir properties and oil and gas saturation of rocks*. Nedra [in Russian].

Iuras, S., Orlyuk, M., Levoniuk, S., Drukarenko, V., & Kruhlov, B. (2023). Unconventional shale gas potential of Lower Visean organic-rich formations in Glynsko-Solohivskiy petroleum region. *Geodynamics*, 1(34), 80–96. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.080>

Karpenko, O., Bashkurov, G., & Karpenko, I. (2014). Geophysical data: Estimating organic matter in rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(66), 71–76 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.66.12>

Karpenko, O., Mykhailov, V., & Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources.

Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1(68), 49–54 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.09.49-54>

Maslov, B., Onyshchuk, I., & Shynkarenko, A. (2017). Modelling of nonlinear viscoelastic properties of terrigenous-calcareous sandstones. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(77), 99–105 [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13>

Mykhailov, V. A., Vyzhva, S. A., & Zagnitko, V. M. (2014). *Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Eastern oil-gas-bearing region: Analytical investigations. Book IV*. Kyiv University Press [in Ukrainian]. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mono_USHU/4-1_Eastern_Region.pdf

Orlyuk, M. I., & Drukarenko, V. V. (2013). Physical parameters of rocks sedimentary cover of the northwestern part of the Dnieper-Donets depression. *Geophysical Journal*, 35(2), 127–136 [in Russian]. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i2.2013.111356>

Orlyuk, M. I., & Pashkevich, I. K. (2011). Magnetic characteristics and fault tectonics of the earth's crust of the Shebelinskaya group of gas fields as an integral part of complex search criteria for hydrocarbons. *Geophysical Journal*, 33(6), 136–151 [in Russian]. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799>

Orlyuk, M. I., Drukarenko, V. V., Onyshchuk, I. I., & Solodkyi, I. V. (2018). The association of physical properties of deep reservoirs with geomagnetic field and fault-block tectonics in the Glyns'ko-Solokhiv'skiy oil-and-gas region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2(25), 77–88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>

Pashkevich, I. K., Orlyuk, M. I., & Lebed, T. V. (2014). Magnetic data, fault tectonics of consolidated earth crust and oil-and-gas content of the Dnieper-Donets avlakogen. *Geophysical Journal*, 36(1), 64–80 [in Russian].

Sadivnik, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., & Fedoryshyn, S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks. In *12th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].

Sobol, V., & Karpenko, O. (2021). A new model of permeability of terrigenous granular reservoirs on the example of Turney deposits of Yablunivske oil and gas condensate field of the Dnieper-Donets basin. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 61–66 [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09>

Starostenko, V. I., & Rusakov, O. M. (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donetsk depression*. Galaktika [in Russian].

Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2015). *Petrophysics. Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties* (4th ed.). Elsevier.

Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., & Onyshchuk, D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz*, LXXIII(2), 90–96. <http://doi.org/10.18668/NG.2017.02.03>

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Oliynyk, O., Reva, M., & Shabatura, O. (2020a). Lower permian carbonate deposits reservoir parameters of western part of Hlynsko-Solohivska area of Dnieper-Donets depression gas-oil-bearing district. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(88), 25–33 [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04>

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., & Shabatura, O. (2020b). Electrical and acoustic parameters of lower permian carbonate rocks (western part of the Hlynsko-Solohivskiy of gas-oil-bearing district of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(89), 49–58 [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07>

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., & Shabatura, O. (2019). Electrical parameters of the upper carbon rocks (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(85), 37–45 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.85.05>

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Orlyuk, M., Onyshchuk, I., Reva, M., & Shabatura, O. (2021). Electric and elastic parameters of carbonic period terrigenous rocks of the eastern part of the northern edge of the Dnieper-Donetsk depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(95), 25–33 [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.03>

Отримано редакцію журналу / Received: 15.07.25

Прорецензовано / Revised: 23.09.25

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.25

Serhii VYZHVA¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Cor. Member of NAS of Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Viktor ONYSHCHUK¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-2301-2202
e-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua

Ivan ONYSHCHUK¹, PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0009-0004-0186-7578
e-mail: ivan.onyshchuk@knu.ua

Mykola REVA¹, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.
e-mail: mvreva@gmail.com

Oleksandr SHABATURA¹, Dr. Sci. (Geol.)
ORCID ID: 0000-0003-0810-3701
e-mail: oshabatura@knu.ua

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ELECTRIC PROPERTIES OF CARBON ROCKS OF THE HNIDYNTSIVSKE OIL AND GAS CONDENSATE DEPOSIT OF THE GLYNSKO-SOLOKHIV GAS CONDENSATE FIELD

Background. *The paper focus is on the results of electric properties determination of upper carbon rocks of the Hnidyntsiyske oil and gas condensate deposit of the Glynsko-Solokhiv gas condensate field. The main aim of the research is comprehensive analysis of rock samples physical features.*

Methods. *A petrographic description of limestones at the first stage was made. Then, resistivity of samples and their relative permittivity were determined. To determine these parameters, a laboratory electrometric installation that consist of the RLC-meter MHC-1100 and the special core holder was used.*

Results. *Electric features of rock samples such as resistivity, formation resistivity factor, relative permittivity were researched.*

The limits of variation and mean values of the electric properties of the studied rocks are given.

Conclusions. *The correlation analysis was utilized to create some correlations between the reservoir parameters of the studied rocks and their electric properties measured in atmospheric and reservoir conditions. These correlation relationships could help in the interpretation of well logging data and modeling of reservoir parameters of carbonate reservoir rocks.*

Keywords: *limestones, resistivity, formation resistivity factor, relative permittivity, correlation relationships.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.