

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.101.02>

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.
e-mail: s.vyzhva@knu.ua

В. Онищук, канд. геол. наук, доц.
e-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua

І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
e-mail: ivan.onyshchuk@knu.ua

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.
e-mail: mvreva@gmail.com

О. Шабатура, д-р геол. наук, доц.
e-mail: oshabatura@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ЕЛЕКТРИЧНІ І ПРУЖНІ ПАРАМЕТРИ УЩІЛЬНЕНИХ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД КЕМБРІЮ СХІДНОГО СХИЛУ ЛЬВІВСЬКОГО ПАЛЕОЗОЙСЬКОГО ПРОГИНУ

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

Присвячено висвітленню результатів дослідження електричних і пружних параметрів ущільнених теригенних порід кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Метою досліджень є вивчення петрофізичних параметрів ущільнених порід-колекторів (алевролітів і пісковиків) та комплексного аналізу їх фізичних властивостей. Досліджені електричні і пружні характеристики теригенних порід: питомий і відносний електричний опір, параметр збільшення електричного опору, швидкість позовдовжніх хвиль та інтервальный час за атмосферних і пластових умов.

Комплексним аналізом даних лабораторних електрометричних досліджень установлені кореляційні зв'язки між питомим електричним і відносним електричним опором, а також між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором ущільнених порід в атмосферних і пластових умовах. Залежність між питомим та відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією. Фізичне моделювання пластових умов дозволяє адаптувати значення електричних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що перебувають у пластових умовах.

У результаті комплексного аналізу матеріалів акустичних досліджень для досліджених порід установлено кореляційні зв'язки: швидкостей пружних хвиль та інтервального часу з густиною та коефіцієнтом пористості в атмосферних умовах; між швидкостями позовдовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах; між швидкістю й коефіцієнтом пористості в пластових умовах. Залежність між швидкістю позовдовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією. Фізичне моделювання пластових умов дозволяє адаптувати значення пружних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що перебувають у пластових умовах.

Кореляційні залежності електричних і пружних параметрів із фільтраційно-ємнісними властивостями алевролітів і ущільнених пісковиків, отримані за результатами лабораторних петрофізичних досліджень, можуть бути основою для попередньої інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин на нових перспективних площах східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Ключові слова: питомий електричний опір, відносний електричний опір, швидкість пружних хвиль, кореляційні залежності, алевроліти, ущільнені пісковики.

Постановка проблеми. Ущільнені колектори часто містять значну кількість органіки й можуть слугувати як материнськими породами, так і колекторами газу. Поклади вуглеводнів в ущільнених колекторах посідають особливе місце серед нетрадиційних джерел видобутку нафти та газу. Вони представлені слабопроникними, низькопористими гірськими породами (Михайлов та ін., 2014, 2015, 2018). Ущільнені колектори за цілою низкою ознак відрізняються від порід традиційних родовищ нафти та газу, їм властиве регіональне поширення. Значні поклади газу характерні для центральних, найбільш занурених частин нафтогазових басейнів ("газ центрально-басейнового типу"). У багатьох регіонах світу, у тому числі на Волино-Поділлі (Україна), встановлені нетрадиційні поклади вуглеводнів в ущільнених колекторах (газ ущільнених порід, сланцевий газ тощо). Сучасний розвиток новітніх технологій видобутку газу на основі гідророзриву пласта у продуктивному інтервалі геологічного розрізу дозволяє добувати газ у значних обсягах з багатих органікою ущільнених порід. Геофізичні та петрофізичні дослідження, а також математичне моделювання є важливою частиною технології, на основі яких визначаються

напрямки горизонтального стовбура свердловини гідророзриву і його параметри.

У статті висвітлено електричні і пружні параметри ущільнених порід, представлених низькопористими пісковиками та алевролітами кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину. Характеристика петрофізичних властивостей цих порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів, що зумовлює актуальність їх петрофізичного вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Дослідженню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних регіонів України присвячений ряд публікацій (Вижва та ін., 2012, 2013, 2014а, б, 2017, 2018, 2019а, б, 2020а, б, 2021а, б, 2022а, б, в; Vyzhva, 2017; Карпенко та ін., 2014, 2015; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014; Орлюк, 2011, 2013; Orlyuk, 2018; Рибалка та Карпенко, 2016; Соболев та Карпенко, 2021; Тектоника..., 2015; Садівник, 2013) та багатьох інших авторів. Як вже зазначалось, електричні і пружні параметри порід мають важливе значення для оцінки їх колекторських властивостей за даними електрометричних і акустичних методів досліджень свердловин. Відомо, що електричні і пружні

параметри порід та їхні кореляційні зв'язки із фільтраційно-ємнісними властивостями мають досить виражений індивідуальний характер щодо окремих різновидів порід та кожної ділянки досліджень. Отже, лабораторні дослідження цих властивостей та встановлення відповідних кореляційних зв'язків між ними для кожної перспективної площі потребують окремого публічного висвітлення їхніх результатів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проблема пошуків і розвідки нетрадиційних джерел вуглеводнів на території України є надзвичайно актуальною. Оцінка перспективності геологічних структур і комплексів на наявність природного газу передбачає визначення їх геолого-геометричних та економічних параметрів, а також петрофізичних властивостей гірських порід (у тому числі електричних і пружних). З використанням останніх виконується оцінка колекторських властивостей порід за матеріалами електричних і акустичних методів досліджень свердловин. Слід відзначити, що для ряду перспективних площ практично відсутні дані результатів лабораторних акустичних та електрометричних досліджень ущільнених порід, а також їхніх кореляційних залежностей від фільтраційно-ємнісних параметрів.

Метою досліджень є оцінка електричних і акустичних параметрів ущільнених теригенних порід кембрію перспективних на вуглеводні ділянок східного схилу Львівського палеозойського прогину як основи комплексного аналізу їх фізичних параметрів та встановлення кореляційних зв'язків із фільтраційно-ємнісними властивостями. Слід відзначити, що кореляційні зв'язки між фільтраційно-ємнісними параметрами і даними свердловинних та польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Це вимагає застосування комплексу лабораторних петрофізичних досліджень. Отримані в результаті лабораторних досліджень дані (фільтраційно-ємнісні параметри і густина порід, швидкість поширення пружних хвиль у них, їх питомий електричний опір та кореляційні зв'язки між цими петрофізичними характеристиками) використовуються для інтерпретації результатів електрометричних і акустичних методів досліджень свердловин, польової електророзвідки і сейсморозвідки.

Експериментальні дослідження виконано в НДЛ теоретичної і прикладної геофізики ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка. Комплекс петрофізичних досліджень включав визначення: густини порід; відкритої та ефективно пористості; структури капілярного простору; питомого електричного опору; швидкості пружних хвиль в атмосферних і пластових умовах (Вижва та ін., 2019б, 2020б, 2021б, 2022б). Усі лабораторні вимірювання виконувалися відповідно до чинних нормативних документів.

У статті наведено результати комплексних досліджень електричних і пружних параметрів колекції із 80 зразків ущільнених порід кембрію – пісковиків (67 зразків) і алевролітів (13 зразків) східного схилу Львівського палеозойського прогину, площі: Бучачська (інтервал глибин 1453–1811 м); Володимирська (2189–2525 м); Добротвірська (3236–3702 м); Лудинська (2760–3110 м); Ліщинська (3003–3222 м); Сокальська (2525–2609 м); Сушнівська (2408–2562 м). Досліджені породи представлені пісковиками тонкозернистими, дрібнозернистими і середньозернистими, сірими та світло-сірими, а також алевролітами сірими.

Методика акустичних та електрометричних лабораторних досліджень. Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керна виконані за допомогою цифрового тераомметра С.А.6547. Прилад дозволяє

виконувати високоточні вимірювання електричного опору на постійному струмі за двоелектродною схемою в діапазоні від 10 кОм до 10 МОм із цифровим записом результатів вимірювань на ЕОМ за спеціальною програмою (Вижва та ін., 2012–2014, 2019б–2021б; Вижва, 2017). Для вимірювання зразків, насичених моделлю пластової води (розчин NaCl, мінералізація 90–120 г/л), застосовувався цифровий прецизійний RCL-метр МНС-1100. Лабораторні циліндричні зразки під час вимірювання поміщались у спеціальний кернотримач, розроблений у НДЛ теоретичної і прикладної геофізики, що дозволяє стандартизувати умови вимірювань лабораторних зразків.

Лабораторні вимірювання швидкостей поширення пружних хвиль у гірських породах виконувались ультразвуковим імпульсно-фазовим методом (Продайвода, 2004, 2007). Для лабораторних акустичних досліджень застосовувалась установка "Керн-4", розроблена в НДЛ теоретичної і прикладної геофізики за участі фахівців механіко-математичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка. Вимірювання швидкості пружних хвиль здійснювалося на спеціально виготовлених циліндричних зразках.

Виконано дослідження зміни питомого електричного опору й швидкості пружних хвиль за різного ступеня відгонки води на центрифугі ОС-6М (Породы..., 1985; Рудько, 2005), з метою визначення залежності цих параметрів від ступеня водонасичення порід. Водночас 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). Також паралельно визначалися коефіцієнти водонасичення порід.

Для встановлення кореляційного зв'язку між електричними та швидкісними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано відповідний комплекс лабораторних петрофізичних досліджень у змодельованих пластових умовах (температура $t = 60 - 100$ °С; ефективний тиск $p_{\text{еф}} = 26 - 45$ МПа; мінералізація пластової води $M = 90 - 120$ г/л).

Середня відносна похибка визначення електричного опору порід у рамках виконаних досліджень становила 3,0 %, а швидкості пружних хвиль – 2,5 %.

Аналіз даних електрометричних досліджень. Електричні параметри ущільнених порід-колекторів перспективних на вуглеводні ділянок східного схилу Львівського палеозойського прогину визначено за допомогою лабораторних вимірювань. Дані про межі змін та середні значення яких наведено в табл. 1.

За результатами лабораторних електрометричних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір (ПЕО) мінерального скелета порід (ПЕО сухих екстрагованих зразків) змінюється: для алевролітів – від 2,988 кОм·м (алевроліт сірий) до 4,019 МОм·м (перешарування алевроліту з аргілітом) за середнього значення 452,465 кОм·м; для пісковиків – від 9,977 кОм·м (пісковик тонко-дрібнозернистий) до 31,590 МОм·м (пісковик світло-сірий, дрібнозернистий) за середнього значення 4,457 МОм·м. При насиченні моделлю пластової води (розчин NaCl) зразки порід мають ПЕО: алевроліти – від 12,7 Ом·м (алевроліт з аргілітом) до 73,2 Ом·м (алевроліт сірий) за середнього значення 28,1 Ом·м; а пісковики – від 7 Ом·м (пісковик світло-сірий, дрібно-середньозернистий) до 38,1 Ом·м (пісковик тонкозернистий) за середнього значення 16,9 Ом·м.

Таблиця 1

Межі змін і середні значення електричних параметрів порід

Породи	Значення параметра	Атмосферні умови		Пластові умови		
		Питомий електричний опір в атмосферних умовах, ρ , Ом·м		Відносний електричний опір, R	Питомий електричний опір порід в пластових умовах, $\rho_{пл}$, Ом·м	Відносний електричний опір, $R_{пл}$
		сухих	насичених розчином NaCl			
Алевроліти	мін.	2988	12,7	101	2,2	205
	макс.	4018636	73,2	630	12,2	2444
	сер.	452465	28,1	221	4,7	649
Пісковики	мін.	9977	7,0	34	0,6	66,7
	макс.	31590210	38,1	328	6,4	1062
	сер.	4456996	16,9	115	2,6	303,6

Відносний електричний опір порід (R) – відношення питомого опору повністю насиченої породи ($\rho_{пв}$) до питомого опору насичувального розчину ($\rho_{в}$): $R = \rho_{пв} / \rho_{в}$ (Дахнов, 1975; Туаб, Доналдсон, 2009) є важливим інформаційним параметром, який широко використовують для геофізичних досліджень свердловин (ГДС) електрометричними методами. Виконаними електрометричними дослідженнями встановлено, що відносний електричний опір порід змінюється: для алевролітів – від 101 (алевроліт сірий) до 630 (перешарування алевроліту з аргілітом) за середнього значення 221; для пісковиків – від 34 (пісвик світло-сірий) до 328 (пісвик тонкозернистий) за середнього значення 115.

Для досліджених порід встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_p) і відносним електричним опором (R), які апроксимуються рівнянням $R = a \cdot k_p^{-m}$, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник (Дахнов, 1975; Туаб, Доналдсон, 2009). Ці залежності для досліджених порід описуються степеневими рівняннями:

$$R = 6,2641 \cdot k_p^{-0,821} \text{ при } R^2 = 0,93 \text{ – алевроліти;}$$

$$R = 6,6247 \cdot k_p^{-0,835} \text{ при } R^2 = 0,75 \text{ – пісковики.}$$

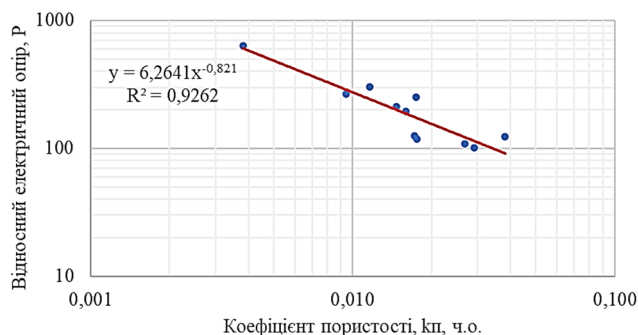
Графіки цих залежностей наведено на рис. 1.

Визначено також параметр збільшення електричного опору (R_n). Цей параметр характеризує відношення питомого опору частково водонасичених порід ($\rho_{чв}$) до питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{пв}$): $R_n = \rho_{чв} / \rho_{пв}$ (Дахнов, 1975; Туаб, Доналдсон, 2009) і є важливою геоелектричною характеристикою порід-колекторів. У результаті експериментальних лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М і статистичного аналізу даних електрометричних вимірювань отримані кореляційні залежності параметра R_n від коефіцієнта водонасичення (k_b), які апроксимуються рівнянням $R_n = b \cdot k_b^{-n}$, де b – постійний коефіцієнт, n – показник змочуваності, що залежить від ступеня гідрофобності зерен породи (Дахнов, 1975; Туаб, Доналдсон, 2009). Ці залежності для досліджених порід описуються степеневими рівняннями:

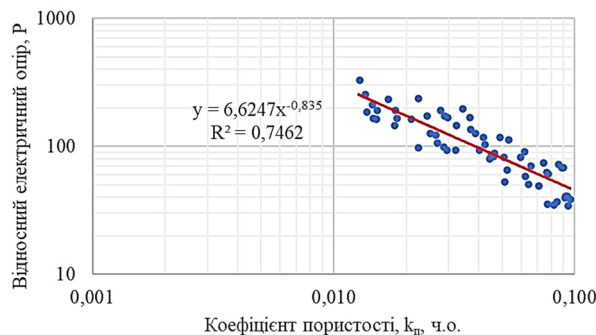
$$R_n = 1,1375 \cdot k_b^{-2,279} \text{ при } R^2 = 0,899 \text{ – алевроліти;}$$

$$R_n = 1,0812 \cdot k_b^{-1,298} \text{ при } R^2 = 0,838 \text{ – ущільнені пісковики.}$$

Графіки наведених залежностей представлено на рис. 2.

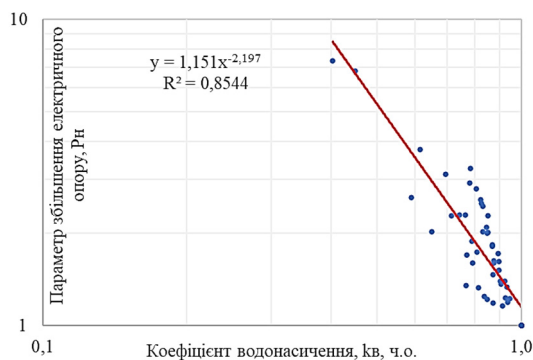


а

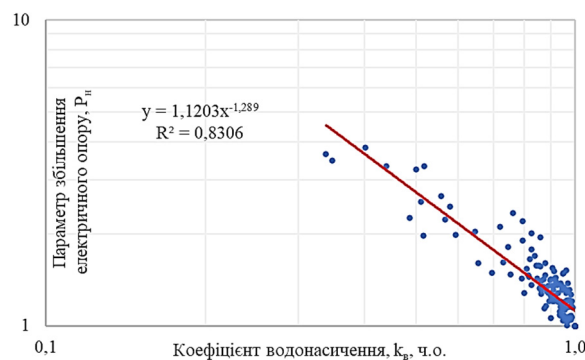


б

Рис. 1. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_p) та відносним електричним опором (R): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики



а



б

Рис. 2. Кореляційні залежності між параметром збільшення електричного опору (R_n) та коефіцієнтом водонасичення (k_b): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

З метою визначення питомого та відносного електричного опорів порід у пластових умовах виконано комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000. Фізичне моделювання пластових умов виконувалось на зразках, насичених розчином NaCl. Середні значення і межі змін питомого й відносного електричного опору порід у пластових умовах ($t = 60 - 100^\circ\text{C}$; $p_{\text{эф}} = 26 - 45 \text{ МПа}$; $M = 90 - 120 \text{ г/л}$) наведено в табл. 1.

Закриття мікротріщин у породах та деформація в них порового простору призводить до зростання питомого електричного опору із збільшенням тиску від атмосферного до пластового. Але за збільшення температури від атмосферної до пластової опір порід зменшується. Отже, маємо суперпозицію впливу двох різнонаправлених факторів на питомий електричний опір порід у пластових умовах.

За результатами фізичного моделювання пластових умов встановлено, що питомий електричний опір

досліджених алевролітів у пластових умовах змінюється від 2,2 Ом·м до 12,2 Ом·м за середнього значення 4,7 Ом·м, а пісковиків – від 0,6 Ом·м до 6,4 Ом·м за середнього значення 2,6 Ом·м (табл. 1). Відносний електричний опір алевролітів у пластових умовах змінюється від 205 до 2444 за середнього значення 649, а пісковиків – від 66,7 до 1062 за середнього значення 303,6 (табл. 1).

Після комплексного аналізу даних лабораторних електрометричних вимірювань встановлено кореляційні залежності між питомими електричними опорами в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{\text{пл}}$) умовах (рис. 3), між відносними електричними опорами в атмосферних (P) і пластових ($P_{\text{пл}}$) умовах (рис. 4) та між відносними електричними опорами ($P_{\text{пл}}$) і коефіцієнтами пористості ($k_{\text{п,пл}}$) у пластових умовах (рис. 5).

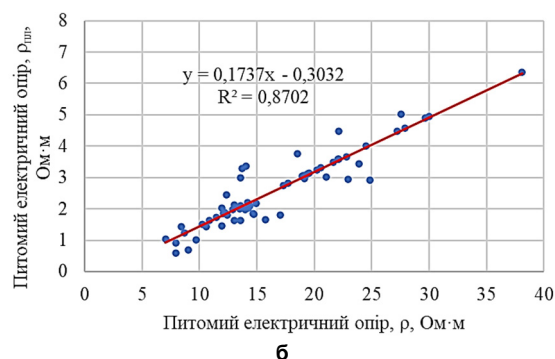
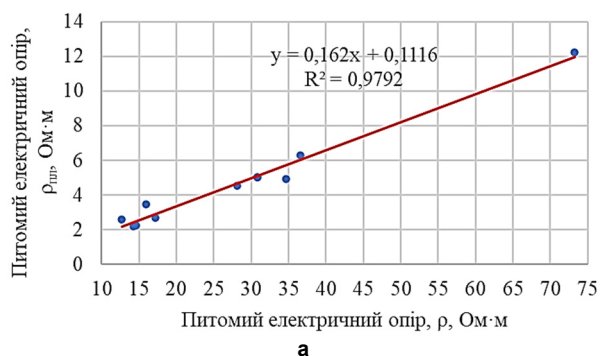


Рис. 3. Кореляційні залежності між питомим електричним опором порід в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{\text{пл}}$) умовах: а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

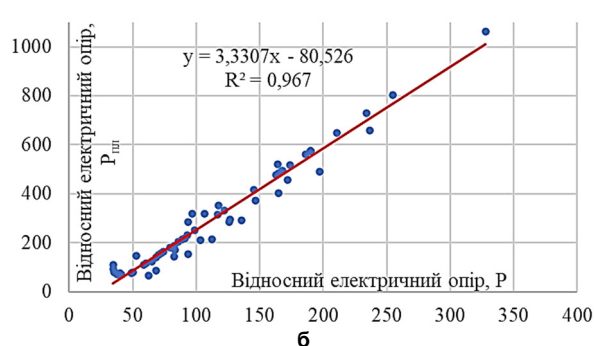
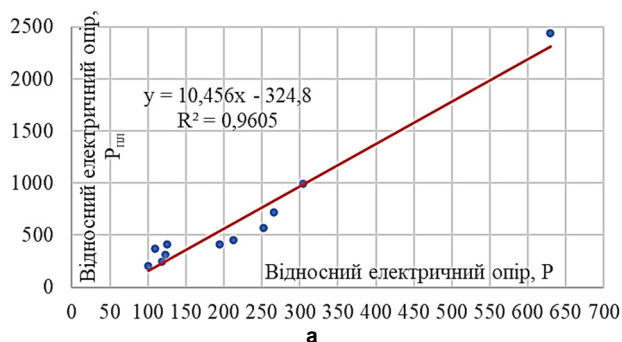


Рис. 4. Кореляційні залежності між відносним електричним опором порід в атмосферних (P) і пластових ($P_{\text{пл}}$) умовах: а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

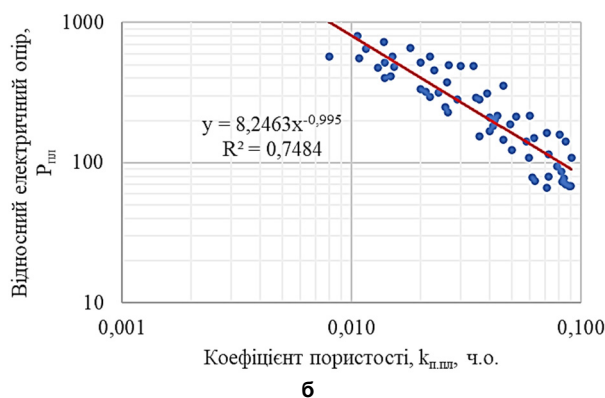
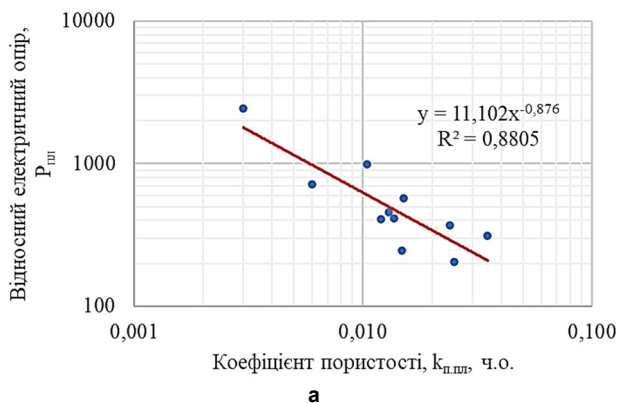


Рис. 5. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п,пл}}$) і відносним електричним опором ($P_{\text{пл}}$) порід (пластові умови): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

Аналітичні вирази кореляційних залежностей, графіки яких зображено на рис. 3–5, наведено нижче:

$$\rho_{пл} = 0,162 \cdot \rho + 0,1116, \text{ при } R^2 = 0,979 - \text{алевроліти};$$

$$\rho_{пл} = 0,1737 \cdot \rho - 0,3022,$$

$$\text{при } R^2 = 0,87 - \text{ущільнені пісковики};$$

$$P_{пл} = 10,456 \cdot P - 324,8, \text{ при } R^2 = 0,961 - \text{алевроліти};$$

$$P_{пл} = 3,3307 \cdot P - 80,526,$$

$$\text{при } R^2 = 0,967 - \text{ущільнені пісковики};$$

$$P_{пл} = 11,102 \cdot k_{пл}^{-0,876}, \text{ при } R^2 = 0,881 - \text{алевроліти};$$

$$P_{пл} = 8,2463 \cdot k_{пл}^{-0,995},$$

$$\text{при } R^2 = 0,748 - \text{ущільнені пісковики}.$$

Слід відзначити, що кореляційні залежності між питомими та відносними електричними опорами в

атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражаються лінійною функцією (рис. 3–4), а між відносним електричним опором і коефіцієнтом пористості – степеневою функцією (рис. 5).

Отримані залежності дозволяють за вимірними в атмосферних умовах електричними параметрами привести їх значення до пластових умов і використати для інтерпретації матеріалів електричних методів каротажу свердловин.

Результати лабораторних акустичних досліджень. Пружні параметри ущільнених порід-колекторів перспективних на вуглеводні ділянок східного схилу Львівського палеозойського прогину визначено за допомогою лабораторних вимірювань. Результати вимірювання швидкості повздовжніх пружних хвиль наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Межі змін і середні значення швидкостей та інтервального часу повздовжніх пружних хвиль порід

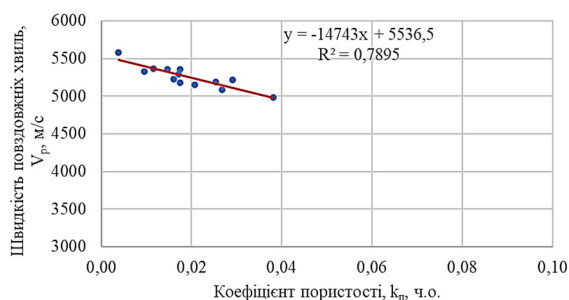
Породи	Значення параметра	Атмосферні умови				Пластові умови	
		Швидкість повздовжніх хвиль, м/с		Інтервальний час, мс/м		Швидкість повздовжніх хвиль, м/с	Інтервальний час, мс/м
		сухих	насичених розчином NaCl	сухих	насичених розчином NaCl		
Алевроліти	мін.	4710	4983	188	179	5208	176
	макс.	5333	5582	212	201	5690	192
	сер.	4943	5256	203	190	5500	182
Пісковики	мін.	3084	4172	184	179	4573	173
	макс.	5432	5590	324	240	5783	219
	сер.	4245	4898	240	205	5240	192

Акустичними лабораторними дослідженнями в атмосферних умовах встановлено, що в екстрагованих сухих алевролітах швидкість поширення повздовжніх пружних хвиль змінюється від 4710 м/с (алевроліт з алевроитовим аргілітом) до 5333 м/с (алевроліт сірий) за середнього значення 4943 м/с, а інтервальний час – від 188 до 212 мс/м за середнього значення 203 мс/м. Швидкість поширення повздовжніх пружних хвиль у пісковиках змінюється від 3084 м/с (піскови́к світло-сірий із зеленуватим відтінком) до 5432 м/с (піскови́к темно-сірий) за середнього значення 4245 м/с, а інтервальний час – від 184 до 324 мс/м за середнього значення 240 мс/м.

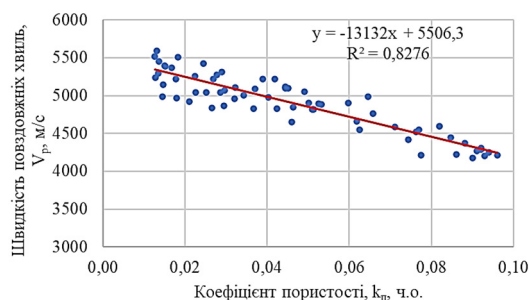
У насичених моделлю пластової води алевролітах швидкість повздовжніх хвиль змінюється від 4983 м/с до

5582 м/с за середнього значення 5256 м/с, а інтервальний час – від 179 до 201 мс/м за середнього значення 190 мс/м. У насичених пісковиках швидкість повздовжніх хвиль змінюється від 4172 м/с до 5590 м/с за середнього значення 4898 м/с, а інтервальний час – від 179 мс/м до 240 мс/м за середнього значення 205 мс/м.

За результатами аналізу акустичних досліджень, виконаних в атмосферних умовах, встановлено ряд кореляційних залежностей між швидкостями пружних хвиль (V_p) та інтервальним часом (t_p) і коефіцієнтом пористості (k_n) та густиною досліджених порід (δ), насичених розчином NaCl, графіки яких зображено на рис. 6–9. Ці залежності апроксимуються лінійною функцією.

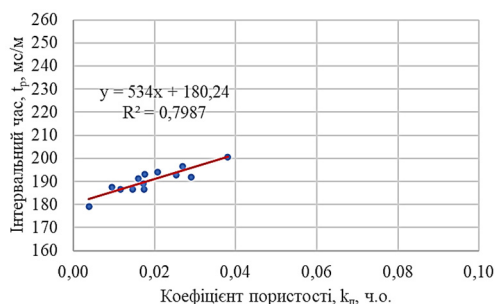


а

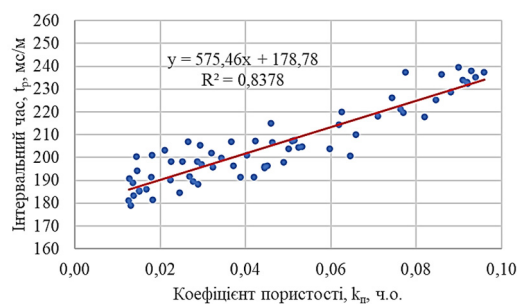


б

Рис. 6. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_n) і швидкістю повздовжніх хвиль (V_p): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики



а



б

Рис. 7. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_n) та інтервальним часом (t_p): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

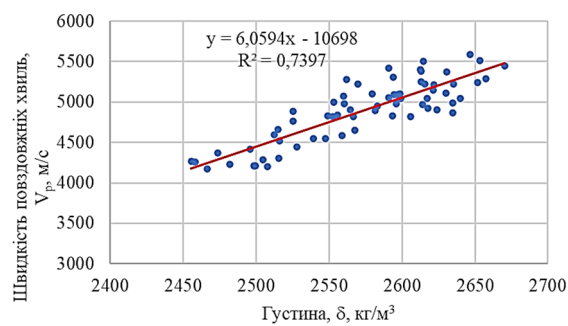
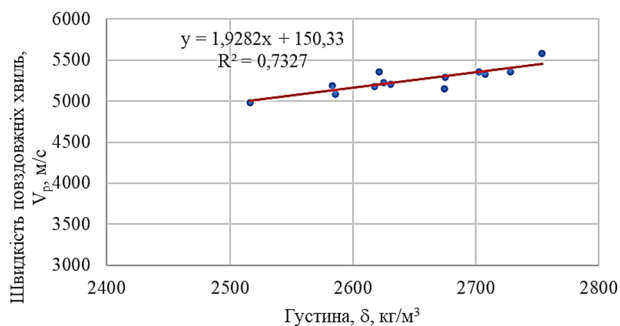


Рис. 8. Кореляційні залежності між густиною (δ) і швидкістю поздовжніх хвиль (V_p):
а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

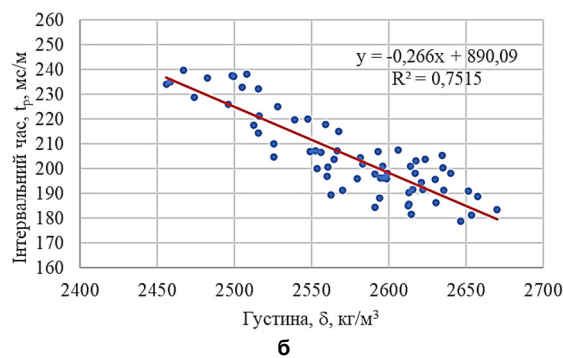
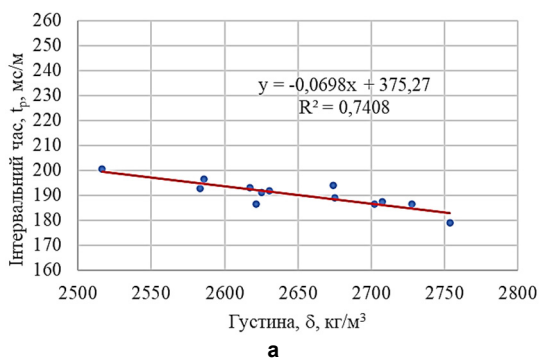


Рис. 9. Кореляційні залежності між густиною (δ) і інтервальним часом (t_p):
а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

Нижче наведено аналітичні вирази встановлених кореляційних залежностей:

$$\begin{aligned} V_p &= -14743 \cdot k_{\Pi} + 5536,5, \text{ при } R^2 = 0,79 - \text{алевроліти}; \\ V_p &= -13132 \cdot k_{\Pi} + 5506,5, \\ &\text{при } R^2 = 0,828 - \text{ущільнені пісковики}; \\ t_p &= 534 \cdot k_{\Pi} + 180,24, \text{ при } R^2 = 0,8 - \text{алевроліти}; \\ t_p &= 575,46 \cdot k_{\Pi} + 178,78, \\ &\text{при } R^2 = 0,838 - \text{ущільнені пісковики}; \\ V_p &= 1,9282 \cdot \delta + 150,33, \text{ при } R^2 = 0,733 - \text{алевроліти}; \\ V_p &= 6,0594 \cdot \delta - 10698, \\ &\text{при } R^2 = 0,74 - \text{ущільнені пісковики}; \\ t_p &= -0,0698 \cdot \delta + 375,27, \text{ при } R^2 = 0,741 - \text{алевроліти}; \\ t_p &= -0,266 \cdot \delta + 890,09, \\ &\text{при } R^2 = 0,752 - \text{ущільнені пісковики}. \end{aligned}$$

Шляхом фізичного моделювання на спеціалізованій установці високого тиску ВСЦ-1000 визначено швидкості поширення поздовжніх хвиль у пластових умовах $V_{p,пл}$. Дослідження виконувалися на зразках, насичених розчином NaCl. Межі змін та середні значення $V_{p,пл}$ та інтервального часу $t_{p,пл}$ порід у пластових умовах наведено в табл. 2.

У результаті цих досліджень встановлено, що швидкість поздовжніх хвиль у досліджених породах зростає із збільшенням тиску. Це відбувається внаслідок деформації порового простору та закриття у породах мікротріщин. Швидкість поздовжніх хвиль у пластових умовах змінюється: для алевролітів – від 5208 м/с до 5690 м/с за середнього значення 5500 м/с, а інтервальний час – від 176 мс/м до 192 мс/м за середнього значення 182 мс/м. Швидкість поздовжніх хвиль пісковиків змінюється від 4573 м/с до 5783 м/с за середнього значення 5240 м/с, а інтервальний час – від 173 мс/м до 219 мс/м за середнього значення 192 мс/м (табл. 2).

За результатами комплексного аналізу матеріалів лабораторних акустичних досліджень досліджених порід, встановлено кореляційні залежності між швидкістю поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах (рис. 10), а також між коефіцієнтом пористості ($K_{п,пл}$) і швидкістю пружних хвиль ($V_{p,пл}$) та інтервальним часом ($t_{p,пл}$) у пластових умовах (рис. 11, 12), які виражаються лінійними функціями.

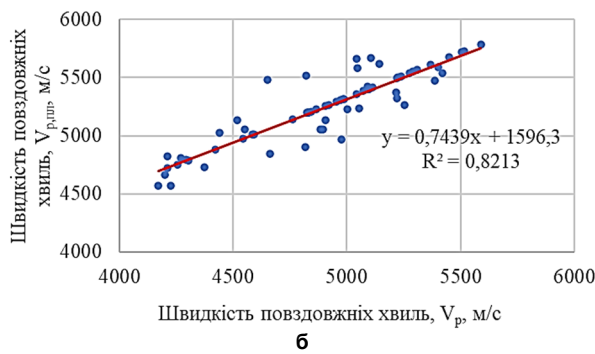
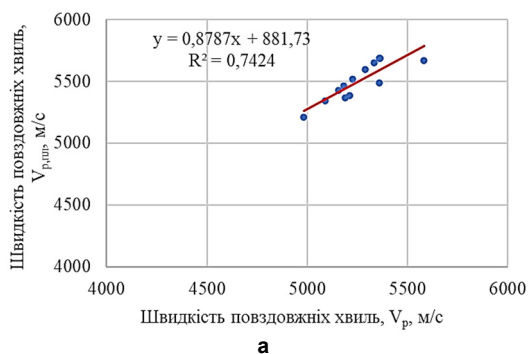


Рис. 10. Кореляційна залежність між швидкістю поздовжніх хвиль в атмосферних (V_p) і пластових ($V_{p,пл}$) умовах:
а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

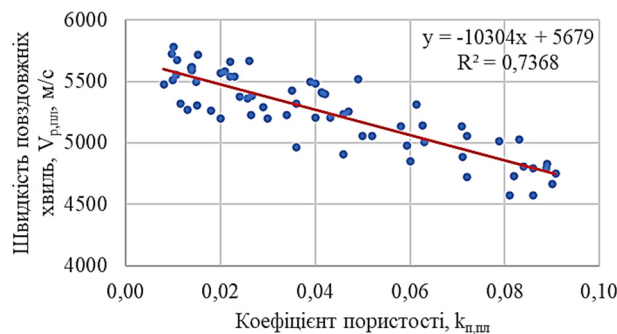
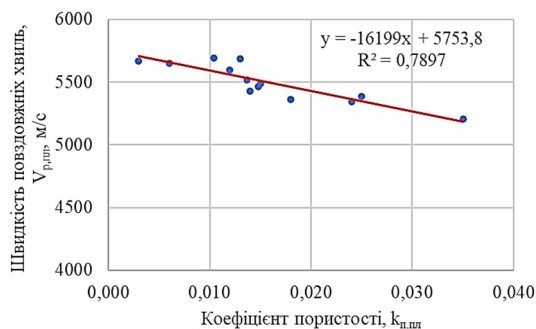


Рис. 11. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{p,пл}$) й швидкістю поздовжніх хвиль ($V_{p,пл}$) у пластових умовах:
а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

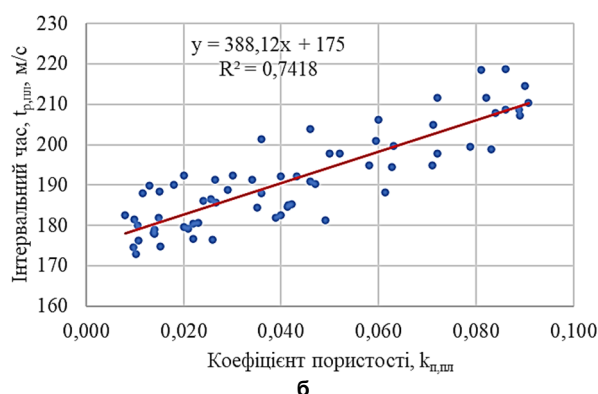
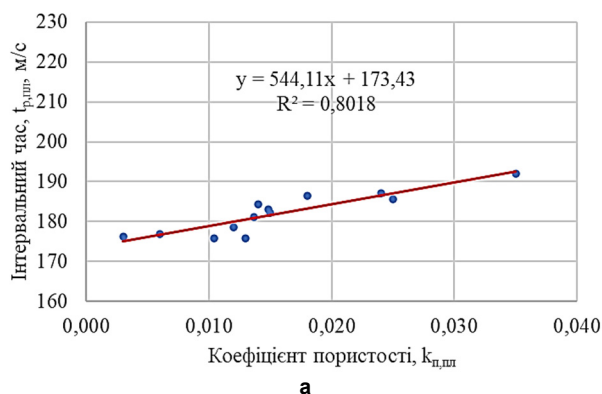


Рис. 12. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{p,пл}$) й інтервального часу ($t_{p,пл}$) у пластових умовах:
а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

Нижче наведено аналітичні вирази встановлених кореляційних залежностей:

$$V_{p,пл} = 0,8787 \cdot V_p + 881,73, \text{ при } R^2 = 0,742 - \text{алевроліти};$$

$$V_{p,пл} = 0,739 \cdot V_p + 1596,3, \text{ при } R^2 = 0,821 - \text{ущільнені пісковики};$$

$$V_{p,пл} = -16199 \cdot k_{p,пл} + 5753,8, \text{ при } R^2 = 0,79 - \text{алевроліти};$$

$$V_{p,пл} = -10304 \cdot k_{p,пл} + 5679, \text{ при } R^2 = 0,737 - \text{ущільнені пісковики};$$

$$t_{p,пл} = 544,11 \cdot k_{p,пл} + 173,43, \text{ при } R^2 = 0,802 - \text{алевроліти};$$

$$t_{p,пл} = 388,12 \cdot k_{p,пл} + 175, \text{ при } R^2 = 0,742 - \text{ущільнені пісковики}.$$

Отримані залежності дозволяють за вимірними в атмосферних умовах швидкісними параметрами привести їх значення до пластових умов і використати для інтерпретації матеріалів акустичного каротажу свердловин.

Висновки. У статті наведено результати комплексних досліджень петрофізичних властивостей колекції із 80 зразків ущільнених порід (пісковиків і алевролітів) кембрію, відібраних на 7 пошукових площах східного схилу Львівського палеозойського прогину в інтервалах глибин від 1453 м до 3702 м. Досліджені породи представлені пісковиками тонкозернистими, дрібнозернистими і середньозернистими, сірими та світло-сірими, а також алевролітами сірими.

Електрометричними лабораторними дослідженнями в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір мінерального скелета (опір сухих екстрагованих порід) змінюється: для алевролітів – від 2,988 кОм·м до 4,019 МОм·м (середнє 452,465 кОм·м); для пісковиків – від 9,977 кОм·м до 31,590 МОм·м (середнє 4,457 МОм·м). Значні межі змін питомого опору зразків пояснюються неоднорідностями у структурі і текстурі порід (пористість,

наявність глинистих і піщаних прошарків та включень). Питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової води, змінюється: для алевролітів – від 12,7 до 73,2 Ом·м (середнє 28,1 Ом·м); для пісковиків – від 7 до 38,1 Ом·м (середнє 16,9 Ом·м). За середніми значеннями опорів алевроліти і пісковики суттєво не відрізняються.

Відносний електричний опір порід змінюється: для алевролітів – від 101 до 630 (середнє 221); для пісковиків – від 34 до 328 (середнє 115). Встановлена кореляційна залежність між відносним електричним опором і коефіцієнтом пористості, яка апроксимується степеневою функцією.

У результаті проведених електрометричних досліджень способом центрифугування зразків порід встановлено кореляційну залежність між параметром збільшення електричного опору і коефіцієнтом водонасичення, яка апроксимується степеневою функцією.

Фізичним моделюванням пластових умов встановлено, що питомий електричний опір змінюється: для алевролітів – від 2,2 до 12,2 Ом·м (середнє 4,7 Ом·м); для пісковиків – від 0,6 до 6,4 Ом·м (середнє 2,6 Ом·м). Вимірювання питомого опору порід за різних тисків показали, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску, при цьому 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. Відносний електричний опір порід у пластових умовах змінюється: для алевролітів – від 205 до 2444 (середнє 649); для пісковиків – від 66,7 до 1062 (середнє 303,6).

Комплексним аналізом даних електрометричних досліджень установлені кореляційні залежності між питомим електричним і відносним електричним опором, а також між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах. Залежність між питомим та відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією. Фізичне моделювання пластових умов дозволяє адаптувати значення електричних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що перебувають у пластових умовах.

За результатами акустичних вимірювань в атмосферних умовах установлено, що швидкість поширення поздовжніх хвиль у сухих екстрагованих породах змінюється: для алевролітів – від 4710 до 5333 м/с (середнє 4943 м/с), а інтервальний час – від 188 до 212 мс/м (середнє 203 мс/м); для пісковиків – від 3084 до 5432 м/с (середнє 4245 м/с), а інтервальний час – від 184 до 324 мс/м (середнє 240 мс/м). Швидкість поздовжніх хвиль порід насичених моделлю пластової води змінюється: для алевролітів – від 4983 до 5582 м/с (середнє 5256 м/с), а інтервальний час – від 179 до 201 мс/м (середнє 190 мс/м); для пісковиків – від 4172 до 5590 м/с (середнє 4898 м/с), а інтервальний час – від 179 до 240 мс/м (середнє 205 мс/м).

Фізичним моделюванням пластових умов установлено, що швидкість поздовжніх хвиль змінюється: для алевролітів – від 5208 до 5690 м/с (середнє 5500 м/с), а інтервальний час – від 176 до 192 мс/м (середнє 182 мс/м); для пісковиків – від 4573 до 5783 м/с (середнє 5240 м/с), а інтервальний час – від 173 до 219 мс/м (середнє 192 мс/м). Із зростанням тиску швидкість поздовжніх хвиль збільшується внаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору. Залежність збільшення швидкості від тиску описується поліномом 2 порядку.

У результаті комплексного аналізу матеріалів акустичних досліджень для алевролітів і пісковиків установлено кореляційні зв'язки: між швидкостями пружних хвиль і густиною та коефіцієнтом пористості в атмосферних умовах; між швидкостями поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах; між швидкістю й коефіцієнтом пористості в пластових умовах. Залежність між швидкістю поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією. Фізичне моделювання пластових умов дозволяє адаптувати значення пружних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що перебувають у пластових умовах.

Кореляційні залежності електричних та пружних і параметрів із фільтраційно-ємнісними властивостями алевролітів і щільних пісковиків, отримані за результатами лабораторних петрофізичних досліджень, можуть бути основою для попередньої інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин на нових перспективних площах східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Автори висловлюють щирю подяку ст. лаборанту В.С. Цуману за його активну й високопрофесійну участь у підготовці зразків і лабораторних дослідженнях.

Список використаних джерел

- Вижва С.А., Онищук В.І., Онищук І.І., Рева М.В., Шабатура О.В. (2022б). Електричні і пружні властивості глибокозанурених ущільнених порід карбону центрального грабена ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2 (97), 29–38. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.97.04>
- Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2013). Петрофізичні параметри нетрадиційних порід-колекторів Південного нафтогазового регіону. *Геоінформатика*, 3 (47), 1–9.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2014а). Петрофізичні параметри порід, перспективних на сланцевий газ (ділянки східного сектору Дніпровсько-Донецької западини). *Геофизический журнал*, 36, 1, 145–157.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2014б). Електричні параметри порід-колекторів імпактних структур. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 65, 3–35.

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2019б). Петрофізичні параметри порід візейського ярусу Лохвицької зони Дніпровсько-Донецької западини. *Геофизический журнал*, 41, 4, 145–160.

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2018). Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 83, 30–37.

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2019а). Електричні параметри порід верхнього карбону Руновщинської площі ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 85, 37–45.

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В., Олійник, О.В. (2020а). 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. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04>

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2020б). Електричні та акустичні параметри нижньопермських карбонатних порід західної частини Глинсько-Солохівського нафтогазового району ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2 (89), 49–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07>

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2021а). Фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених порід північної приобтової зони Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (94), 37–45. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04>

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2022а). Колекторські властивості глибокозанурених ущільнених порід карбону центрального грабена ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (96), 11–19. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.02>

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2022б). Фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених теригенних порід кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (98), 33–41. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.04>

Вижва, С.А., Онищук, В.І., Орлюк, М.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2021б). 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. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.03>

Вижва, С.А., Онищук, Д.І., Онищук, В.І. (2012). Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 57, 13–16.

Вижва С.А., Михайлов В.А., Онищук І.І. (2017). Петрофізические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 79, 12–20.

Дахнов, В.Н. (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазоносности пород. Недра, 343 с.

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. DOI: [10.17721/1728-2713.66.12](http://doi.org/10.17721/1728-2713.66.12)

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*, 68, 49–54. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.09.49-54>

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*, 77, 99–105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13>

Михайлов, В.А., Вижва, С.А., Загнітко, В.М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Книга IV. ВПЦ "Київський університет", 430 с.

Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2013). Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*, 35, 2, 127–136.

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.

Орлюк, М.І. (2001). Магнітна модель земної кори Центральної депресії Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку з прогнозуванням її нафтогазоносності. *Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геофізики*, 62–66.

- Породы горные. (1985). Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации: ГОСТ 26450.2-85. Москва: Миннео СССР, 18 с.
- Продайвода, Г.Т. (2004). Акустика текстур гірських порід. Київ: ВГЛ "Обрії", 144 с.
- Продайвода, Г.Т. (2007). Математичне моделювання ефективних термомпружних властивостей багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища насиченого флюїдом з внутрішнім тиском. *Геофизический журнал*, 3, 122–130.
- Рибалка, С., Карпенко, О. (2016). Колекторські властивості теригенних порід на великих глибинах центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(72), 56–59. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.08>
- Рудько, Г.І., Нестеренко, М.Ю. та ін (2005). Обґрунтування кондиційних значень фільтраційно-ємнісних параметрів теригенних порід-колекторів для підрахунку запасів вуглеводнів. Методичні вказівки. Київ; Львів, 58 с.
- Садівник, М.І., Федоришин, Д.Д., Трубенко, С.Д., Федоришин, С.Д. (2013). Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід. XII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та практичні аспекти", Київ, Україна.
- Соболь, В., Карпенко, О. (2021). Нова модель проникності теригенних гранулярних колекторів на прикладі турнейських відкладів Яблунівського нафтогазоконденсатного родовища Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (92), 61–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09>
- Старостенко, В.И., Русаков, О.М. (2015). Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Галактика, 212 с.
- Тиаб, Дж., Дональдсон, Э.Ч. (2009). Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. "Премииум Инжиниринг", 868 с.
- 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. *Геодинаміка*, 2 (25), 71–88. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>
- Vyzhva, S.A., Onyshchuk, V.I., Onyshchuk, D.I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz: Rok LXXIII Nr 2*, 90–96. DOI: 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. Moscow: Nedra. [in Russian]
- 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. DOI: 10.17721/1728-2713.66.12 [in Ukrainian]
- Karpenko, O., Mykhailov, V., Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donetsk depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 68, 49–54. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.09.49-54> [in Ukrainian]
- 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*, 77, 99–05. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13> [in Ukrainian]
- Mykhailov, V.A., Vyzhva, S.A., Zagnitko, V.M. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Eastern oil-gas-bearing region: Analytical investigations. Book IV. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]
- Orlyuk, M.I. (2001). Magnetic model of the earth's crust of Central depression of Dnieper-Donetsk depression in connection with prognostication of its oil and gas potential. *The theoretical and applied problems of oil and gas geophysics*, 62–66. [in Ukrainian]
- Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2013). Physical parameters of rocks sedimentary cover of the northwestern part of the Dnieper-Donetsk depression. *Geofizicheskii Zhurnal*, 35, 2, 127–136. [in Russian]
- 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. *Geodynamics*, 2 (25), 71–88. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>
- 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. *Geofizicheskii Zhurnal*, 33, 6, 136–151. [in Russian]
- Prodayvoda, G.T. (2004). Acoustics textures of rocks. Kyiv: Horizons., 144 p. [in Ukrainian]
- Prodayvoda, G.T. (2007). Mathematical modeling of effective thermoelastic properties of the multi-fractured geological environment saturated with fluid internal pressure. *Geophysical Journal*, 3, 122–130. [in Russian].
- Rudko, G.I., Nesterenko, M.Yu., et al. (2005). Substantiating of the conditioning data of the reservoir parameters of terrigenous reservoirs for calculation of hydrocarbon reserves. Methodology guidelines. Kyiv-Lviv: UkrDHR.
- Rybalka, S., Karpenko, O. (2016). Central part of the Dnieper-Donetsk Basin: Reservoir properties of deep-laid terrigenous rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(72), 56–59. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.08> [in Ukrainian]
- Sadivnik, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., Fedoryshyn, S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks. *12th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Kiev, 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-Donetsk basin. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 61–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09> [in Ukrainian]
- Starostenko, V.I., Rusakov, O.M. (2015). Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donetsk depression. Kyiv: Galaktika, 212 p. [in Russian]
- The rocks. (1985). Methods for determination of reservoir properties. Method for determination of absolute permeability coefficient under stationary and non-stationary filtration. GOST 26450.2–85. Moscow: Mingeo USSR. [in Russian]
- Tiab, D., Donaldson, E.C. (2009). Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport. Moscow: Premium Engineering. (Original work published 2004). [in Russian]
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., Onyshchuk, I. (2014). Reservoir Rocks in Impact Structures: Electrical Parameters. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 65, 31–35. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, I. (2017). Petrophysical features of Maikop series of the Crimean-Black Sea region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79, 12–20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02> [in Russian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, D., Onyshchuk, V. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 57, 13–16. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Oliinyk, O., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Lower Permian carbonate deposits reservoir parameter softest part of Hlynko-Solokhiv'ska area of Dnieper-Donetsk depression gas-oil-bearing district. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(88), 25–33. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04> [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Orlyuk, M., Drukarenko, V., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Petrophysical parameters of rocks of the Visean stage (Lokhvitsky zone of the Dnieper-Donetsk Basin). *Geofizicheskii Zhurnal*, 41, 2, 145–160. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2018). Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donetsk basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 83, 30–37. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Electrical parameters of the upper carbon rocks (Runovshchynska area of the Dnieper-Donetsk basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 85, 37–45. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Electrical and acoustic parameter softest Permian carbonate rocks (western part of the Hlynko-Solokhiv'skiy oil-and-gas-bearing district of the Dnieper-Donetsk basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 49–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07> [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2021). Porosity and permeability properties of consolidated rocks of the northern near edge zone of the Dnieper-Donetsk depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (94), 37–45. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04> [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2022a). Reservoir properties of deep-seated consolidated rocks of Carboniferous period of the central graben of the Dnieper-Donetsk depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (96), 11–19. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.02> [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2022b). Electric and elastic properties of deep-seated consolidated rocks of Carboniferous period of the central graben of the Dnieper-Donetsk depression (DDD). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (97), 29–38. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.97.04> [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2022b). Reservoir properties of consolidated terrigenous rocks of Cambrian period of the eastern slope of the Lviv Paleozoic depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (98), 33–41. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.04> [in Ukrainian]
- 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. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.03> [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Mykhailov, V.A., Onyshchuk, D.I., Onyshchuk, I.I. (2013). Petrophysical parameters of unconventional types of reservoir rocks from Southern oil-and-gas region. *Geoinformatics*, 3 (47), 17–25. [in Ukrainian]
 Vyzhva, S.A., Mykhailov, V.A., Onyshchuk, I.I. (2014). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-Donetsk

depression promising for shale gas. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36, 2, 145–157. [in Ukrainian]

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

Надійшла до редколегії 17.02.23

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
 e-mail: s.vyzhva@knu.ua

V. Onyshchuk, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
 e-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua

I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Researcher
 e-mail: ivan.onyshchuk@knu.ua

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

O. Shabatura, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
 e-mail: dard@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
 Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ELECTRIC AND ELASTIC PROPERTIES OF CONSOLIDATED TERRIGENOUS ROCKS OF CAMBRIAN PERIOD OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE LVIV PALAEOZOIC TROUGH

Paper concerned the research of elastic and electric properties of consolidated terrigenous rocks of Cambrian period of the southern slope of the Lviv Palaeozoic trough.

The purpose of the research was to study the petrophysical parameters of the consolidated reservoir rocks (siltstones and sandstones), as the basis of the integrated analysis of their physical properties. The research looked at electric and elastic parameters of terrigenous rock samples, resistivity and formation resistivity factor, formation resistivity enlargement factor, velocities of the P-waves and interval (transit) time in atmospheric and reservoir conditions.

Correlations between resistivity and formation resistivity factor, and between porosity and formation resistivity factor of consolidated rocks were established in atmospheric and reservoir conditions. The correlation between the resistivity and formation resistivity factor manifest itself in linear function. Physical modeling of reservoir conditions allows adapting the values of electrical parameters obtained in atmospheric conditions to parameters of rocks in reservoir conditions.

Laboratory acoustic study of rock samples managed to establish correlations of: velocities of the P-waves and interval (transit) time with density and porosity in atmospheric conditions; velocities of the P-waves in atmospheric and reservoir conditions; velocities with porosity in reservoir conditions. The correlations between velocities of the P-waves in atmospheric and reservoir conditions for the studied rocks manifested itself in linear function. Physical modeling of reservoir conditions allows adapting the values of elastic parameters obtained in atmospheric conditions to parameters of rocks in reservoir conditions.

The correlations between the electric and elastic properties and reservoir properties of siltstones and consolidated sandstones should be at the basis of preliminary interpretation of geophysical well logging on prospective areas of the southern slope of the Lviv Palaeozoic trough.

Keywords: resistivity, formation resistivity factor, velocity of elastic waves, correlations, siltstones, consolidated sandstones.