

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.97.04>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: oivan1@ukr.net;М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
E-mail: mvreva@gmail.com;О. Шабатура, д-р геол. наук,
E-mail: dard@ukr.net;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна**ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ
ГЛИБОКОЗАНУРЕНИХ УЩІЛЬНЕНИХ ПОРІД КАРБОНУ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ГРАБЕНА ДДЗ***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М. І. Орлюком)**Висвітлено результати дослідження пружних і електричних властивостей глибокозанурених ущільнених теригенних порід карбону центрального грабена Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).**Мета досліджень полягала у вивченні петрофізичних параметрів ущільнених порід-колекторів як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей. Дослідженню підлягали такі електричні та пружні характеристики зразків порід, як питомий та відносний електричний опір, параметр збільшення електричного опору, швидкість повздовжніх хвиль та інтегральний час в атмосферних і пластових умовах.**У результаті комплексного аналізу матеріалів електрометричних досліджень для порід установлені кореляційні зв'язки 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.**Шляхом комплексного аналізу матеріалів акустичних досліджень для алевролітів і пісковиків установлені кореляційні зв'язки: швидкостей пружних хвиль та інтервального часу з густиною і коефіцієнтом пористості в атмосферних умовах; між швидкостями повздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах; між швидкістю і коефіцієнтом пористості в пластових умовах. Залежність між швидкістю повздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах для досліджених порід виражається лінійною функцією.**Фізичне моделювання пластових умов дозволяє адаптувати значення пружних і електричних параметрів, отриманих під час лабораторних вимірювань в атмосферних умовах, до параметрів порід, що знаходяться у пластових умовах.**Кореляційні залежності пружних і електричних 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 центрального грабена ДДЗ.**Ключові слова: алевроліти, ущільнені пісковики, питомий електричний опір, відносний електричний опір, швидкість пружних хвиль, кореляційні залежності.*

Постановка проблеми. Ущільнені породи у деяких районах містять значну кількість органіки й можуть служити як материнськими породами, так і колекторами газу. За результатами виконаних останнім часом досліджень установлено, що центральний грабен ДДЗ є одним із найперспективніших районів на наявність як традиційних (Орлюк, 2001; Тектоника..., 2015), так і нетрадиційних покладів вуглеводнів (газ ущільнених порід, сланцевий газ тощо), які можуть у разі перевищувати ресурси традиційного типу (Михайлов та ін., 2014). Розвиток новітніх технологій видобутку газу дозволяє добувати газ у значних об'ємах із багатих органікою ущільнених порід. Основу цих технологій становить буріння горизонтальних свердловин і проведення гідророзриву пласта у продуктивному інтервалі геологічного розрізу. Геофізичні та петрофізичні дослідження, а також математичне моделювання, є важливими частинами технологій, на основі яких визначаються напрямки горизонтального стовбура свердловини гідророзриву і його параметри.

Ущільнені породи, петрофізичні властивості яких наведені у цій статті, представлені низькопористими пісковиками й алевролітами. Вивчення електричних і пружних параметрів цих порід є одним із важливих засобів оцінювання нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів, що обумовлює актуальність їх петрофізичного вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід газонафтоперспективних районів України присвячено низку публікацій (Вижва та ін., 2012–2014, 2017–2021; 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 багато інших. Акустичні й електричні параметри порід мають важливе значення для оцінювання їх колекторських властивостей за даними акустичних і електрометричних методів досліджень свердловин. Слід зазначити, що петрофізичні характеристики порід і їх кореляційні зв'язки з фільтраційно-ємнісними параметрами мають досить виражений індивідуальний характер щодо окремих різновидів порід та кожної ділянки досліджень. Тому лабораторні дослідження цих властивостей і встановлення відповідних кореляційних зв'язків між ними для кожної перспективної площі потребують окремого публічного висвітлення їх результатів.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Актуальність проблеми пошуків і розвідки нетрадиційних джерел вуглеводнів на території України є очевидною. Оцінювання перспективності на газ геологічних структур і комплексів включає їх геолого-

геометричні, економічні параметри, а також петрофізичні властивості гірських порід (у т. ч. електричні та пружні). На основі цих даних виконується оцінювання колекторських властивостей порід за матеріалами акустичних і електрометричних методів досліджень свердловин. Незважаючи на значну кількість публікацій, для багатьох 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 оцінювання акустичних і електричних властивостей глибокозанурених ущільнених теригенних порід карбону перспективних на вуглеводні ділянок центрального грабена ДДЗ як основи комплексного аналізу їх фізичних параметрів та встановлення кореляційних зв'язків із фільтраційно-ємнісними властивостями. Зважаючи на те, що кореляційні зв'язки між ємнісно-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних та польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення, основою для їх визначення стає комплекс лабораторних петрофізичних досліджень. Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень фільтраційно-ємнісних параметрів і густини порід, швидкості поширення пружних хвиль у них, їх питомого електричного опору, та кореляційні зв'язки між цими петрофізичними характеристиками використовуються для інтерпретації результатів акустичних і електрометричних методів досліджень свердловин, польової електророзвідки і сейсморозвідки.

Експериментальні дослідження виконані в НДЛ теоретичної і прикладної геофізики ННІ "Інститут геології" Київського національного університету 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 (Вижва та ін., 2019б, 2020б, 2021б). Виконано також петрографічні дослідження. Усі лабораторні вимірювання виконувалися відповідно до чинних нормативних документів.

У пропонованій статті наведено результати комплексних досліджень пружних і електричних властивостей колекції зі 115 зразків ущільнених порід карбону – пісковиків (96 зразків) і алевролітів (19 зразків) центрального грабена ДДЗ, площі: Західно-Шебелинська (інтервал глибин – 4929–5491 м); Коломацька (інтервал глибин – 5290–5650 м); Веселівська (інтервал глибин – 3618–3761 м). Досліджені породи представлені алевролітами слюдистими, темно-сірими до чорних, а також пісковиками дрібнозернистими та середньозернистими, сірими і світло-сірими.

Методика акустичних та електрометричних лабораторних досліджень. 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", яка розроблена в НДЛ теоретичної і прикладної геофізики за участі фахівців механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вимірювання швидкості пружних хвиль здійснювалося на спеціально виготовлених циліндричних зразках.

Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керн виконані за допомогою цифрового тераомметра С.А. 6547. Прилад дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору на постійному струмі за двохелектродною схемою в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм із цифровим записом результатів вимірювань на ЕОМ за спеціальною програмою (Вижва та ін., 2012–2014, 2019б–2021б; Vyzhva, 2017). Для вимірювання зразків, насичених моделлю пластової води (розчин NaCl, мінералізація 196 г/л), застосовувався RCL-метр МНС-1100. Циліндричні зразки під час вимірювання поміщались у спеціальний кернотримач, розроблений у НДЛ теоретичної і прикладної геофізики.

Досліджено зміни питомого електричного опору і швидкості пружних хвиль за різного ступеня відгонки води на центрифугі ОС-6М (Породы..., 1985; Рудько, 2005) з метою визначення залежності петрофізичних параметрів від водонасичення порід. У процесі цих досліджень виконано серію вимірювань електричного опору і швидкості пружних хвиль зразків порід, насичених моделлю пластової води, до та після їх 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 та швидкісними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано відповідний комплекс лабораторних петрофізичних досліджень у змодельованих пластових умовах (температура $t = 138 - 158\text{ }^{\circ}\text{C}$; ефективний тиск $p_{\text{еф}} = 60 - 70\text{ МПа}$; мінералізація пластової води $M = 196\text{ г/л}$).

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

Аналіз даних електрометричних досліджень. У результаті лабораторних вимірювань визначено електричні параметри ущільнених порід-колекторів перспективних на вуглеводні ділянок центрального грабена ДДЗ. Дані про межі змін та середні значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Межі змін і середні значення електричних параметрів порід

Породи	Значення параметра	Атмосферні умови			Пластові умови	
		Питомий електричний опір, Ом·м		Відносний електричний опір, Р	Питомий електричний опір порід, насичених розчином NaCl, Ом·м	Відносний електричний опір, Р _{пл}
		сухих	насичених розчином NaCl			
Алевроліти	мін.	4447	5,8	71,2	0,8	276,7
	макс.	74400	21,8	265,5	5,6	1853,3
	сер.	36398	11,7	142,5	2,4	804,9
Пісковики	мін.	31392	2,1	25,2	0,3	88,5
	макс.	456569148	18,9	230,4	2,5	1074,5
	сер.	22911987	6,4	77,5	0,8	323,7

Лабораторними електрометричними вимірюваннями в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір (ПЕО) мінерального скелета порід (ПЕО сухих

екстрагованих зразків) змінюється: для алевролітів – від 4,447 кОм·м (алевроліт темно-сірий) до 74,4 кОм·м (алевроліт чорний) за середнього значення 36,398 кОм·м; для

пісковиків – від 31,392 кОм·м (пісковик дрібнозернистий) до 456,569 МОм·м (пісковик грубозернистий кварцовий) за середнього значення 22,912 МОм·м. Зразки порід, насичені моделлю пластової води (розчин NaCl), мають ПЕО: алевроліти – від 5,8 Ом·м (алевроліт темно-сірий) до 21,8 Ом·м (алевроліт слюди́стий) за середнього значення 11,7 Ом·м; пісковики – від 2,1 Ом·м (пісковик дрібнозернистий, світло-сірий) до 18,9 Ом·м (пісковик середньозернистий, сірий) за середнього значення 6,4 Ом·м.

Відносний електричний опір порід (P) – 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; Туаб і Доналдсон, 2009) – є важливим інформаційним параметром, який широко використовується при геофізичних дослідженнях свердловин (ГДС) електрометричними методами. У результаті виконаних електрометричних досліджень установлено, що

відносний електричний опір порід змінюється: для алевролітів – від 71,2 (алевроліт темно-сірий) до 265,5 (алевроліт слюди́стий) за середнього значення 142,5; для пісковиків – від 25,2 (пісковик дрібнозернистий, світло-сірий) до 230,4 (пісковик середньозернистий, сірий) за середнього значення 77,5.

Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п}}$) і відносним електричним опором (P), які апроксимуються рівняннями $P = a \cdot k_{\text{п}}^{-m}$, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009):

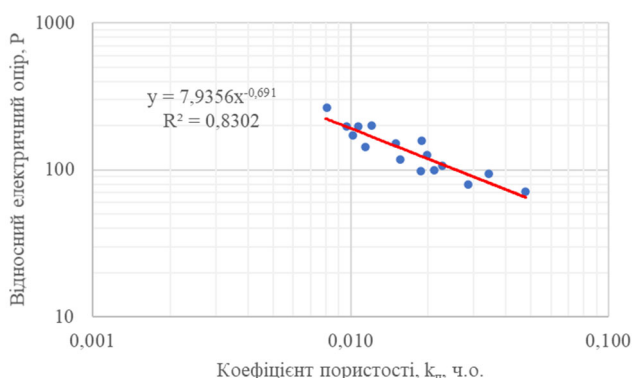
$$P = 7,9356 \cdot k_{\text{п}}^{-0,691},$$

при $R^2 = 0,83$ – алевроліти;

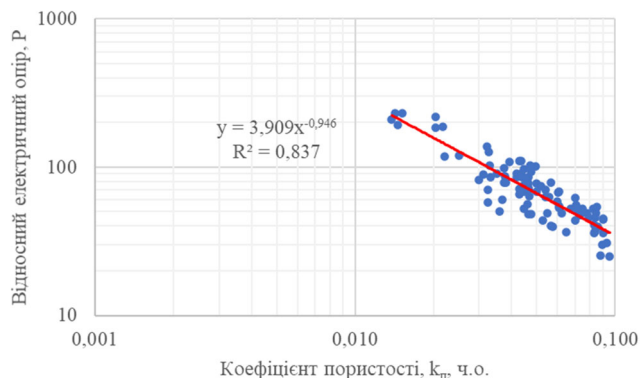
$$P = 3,909 \cdot k_{\text{п}}^{-0,946},$$

при $R^2 = 0,84$ – пісковики.

Графіки цих залежностей наведені на рис. 1а, б.



а



б

Рис. 1. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п}}$) та відносним електричним опором (P):

а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

Параметр збільшення електричного опору ($P_{\text{н}}$) – 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; Туаб і Доналдсон, 2009) – 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 $P_{\text{н}}$ від коефіцієнта водонасичення ($k_{\text{в}}$), які апроксимуються рівнянням $P_{\text{н}} =$

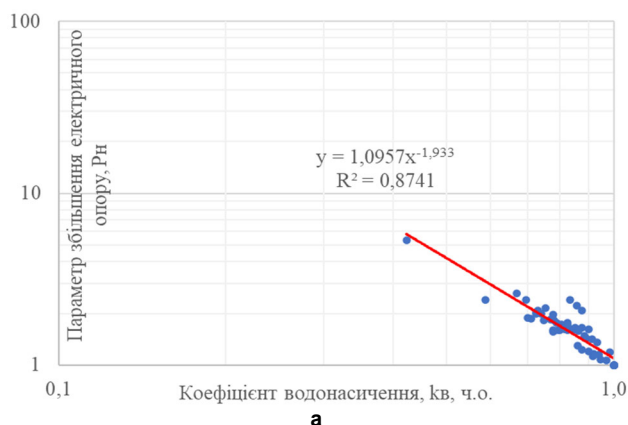
$b \cdot k_{\text{в}}^{-n}$, де b – постійний коефіцієнт, n – показник змочуваності, що залежить від ступеня гідрофобності зерен породи (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009). Ці залежності для досліджених порід описуються степеневими рівняннями:

$$P_{\text{н}} = 1,0957 \cdot k_{\text{в}}^{-1,933} \quad \text{при } R^2 = 0,847 \text{ – алевроліти;}$$

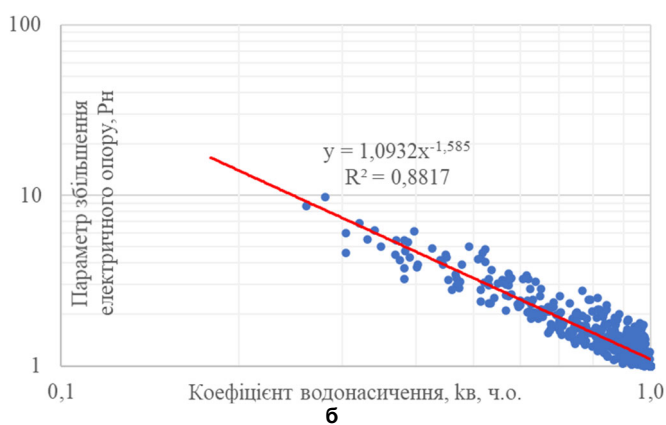
$$P_{\text{н}} = 1,0932 \cdot k_{\text{в}}^{-1,585}$$

$$\text{при } R^2 = 0,882 \text{ – ущільнені пісковики.}$$

Графіки наведених залежностей представлені на рис. 2а, б.



а



б

Рис. 2. Кореляційні залежності між параметром збільшення електричного опору ($P_{\text{н}}$) та коефіцієнтом водонасичення ($k_{\text{в}}$):

а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

Виконано комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000 з метою визначення питомого та відносного електричного опорів порід у пластових умовах. Вимірювання виконувались на зразках, насичених розчином NaCl. Межі змін і середні значення питомого й відносного електричного опору порід у пластових умовах ($t = 94 - 126\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p_{\text{еф}} = 41 - 55\text{ МПа}$; $M = 196\text{ г/л}$) наведено у табл. 1.

Зростання питомого електричного опору зі збільшенням тиску від атмосферного до пластового пояснюється закриттям мікротріщин у породах та деформацією в них порового простору. Однак при збільшенні 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 алевролітів у

пластових умовах змінюється від 0,8 Ом·м до 5,6 Ом·м за середнього значення 2,4 Ом·м, а пісковиків – від 0,3 Ом·м до 2,5 Ом·м за середнього значення 0,8 Ом·м (табл. 1). Відносний електричний опір алевролітів у пластових умовах змінюється від 276,7 до 1853,3 за середнього значення 804,9, а пісковиків – від 88,5 до 1074,5 за середнього значення 323,7 (табл. 1).

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

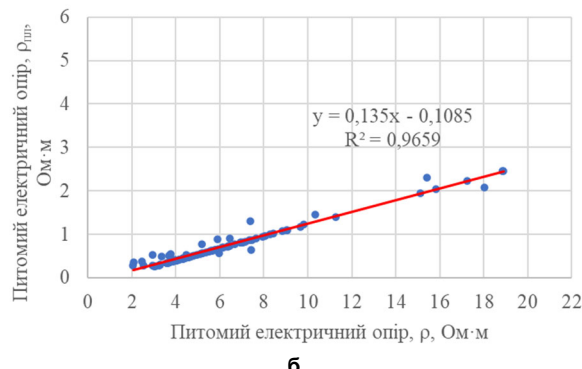
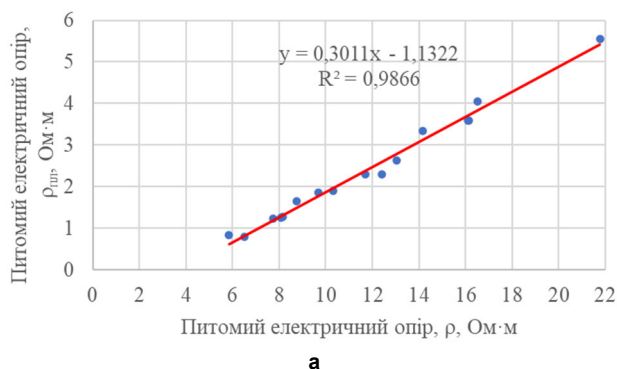


Рис. 3. Кореляційні залежності між питомим електричним опором порід в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{\text{пл}}$) умовах: а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

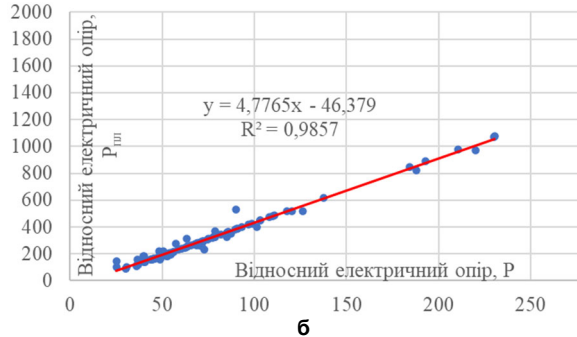
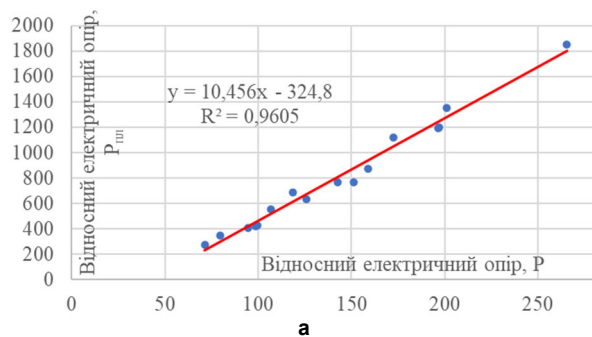


Рис. 4. Кореляційні залежності між відносним електричним опором порід в атмосферних (P) і пластових ($P_{\text{пл}}$) умовах: а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

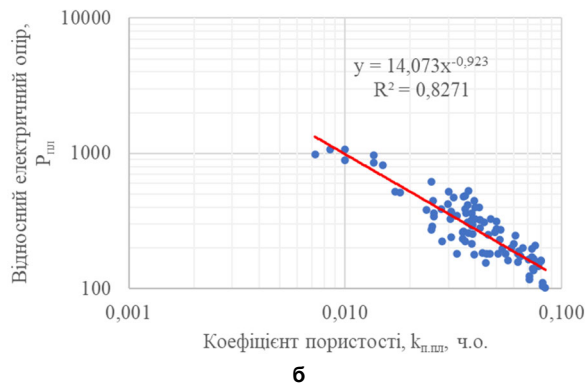
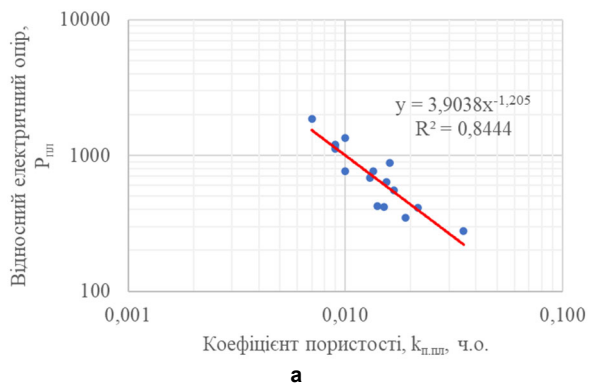


Рис. 5. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{\text{п,пл}}$) і відносним електричним опором ($P_{\text{пл}}$) порід (пластові умови): а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

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

$$\begin{aligned} \rho_{пл} &= 0,3011 \cdot p - 1,1322, \text{ при } R^2 = 0,987 - \text{алевроліти;} \\ \rho_{пл} &= 0,135 \cdot p - 0,1085, \\ &\text{при } R^2 = 0,966 - \text{ущільнені пісковики;} \\ P_{пл} &= 10,456 \cdot P - 324,8, \text{ при } R^2 = 0,961 - \text{алевроліти;} \\ P_{пл} &= 4,7765 \cdot P - 46,379, \\ &\text{при } R^2 = 0,986 - \text{ущільнені пісковики;} \\ P_{пл} &= 3,9038 \cdot k_{пл}^{-1,205}, \text{ при } R^2 = 0,844 - \text{алевроліти;} \\ P_{пл} &= 14,073 \cdot k_{пл}^{-0,923}, \\ &\text{при } R^2 = 0,827 - \text{ущільнені пісковики.} \end{aligned}$$

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).

Установлені кореляційні залежності, графіки яких наведено на рис. 3–5, дозволяють оцінювати електричні параметри порід, що знаходяться у пластових умовах, за результатами їх лабораторного визначення в атмосферних умовах.

Результати лабораторних акустичних досліджень.

У процесі комплексних лабораторних петрофізичних досліджень виконано комплекс акустичних вимірювань швидкостей поширення пружних хвиль в ущільнених породах – алевролітах і низькопористих пісковицх центрального грабена ДДЗ. 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.	3810	4531	193	191	4309	192
	макс.	5177	5222	262	221	5201	232
	сер.	4653	5001	217	200	4899	204
Пісковики	мін.	2425	3891	224	187	3662	178
	макс.	4463	5360	412	257	5622	273
	сер.	3624	4595	281	219	4603	219

Лабораторними акустичними вимірюваннями в атмосферних умовах встановлено, що в екстрагованих сухих алевролітах швидкість поширення повздовжніх пружних хвиль змінюється від 3810 м/с (алевроліт темно-сірий) до 5177 м/с (алевроліт слюдикий) за середнього значення 4653 м/с, а інтервальний час – від 193 до 262 мс/м за середнього значення 217 мс/м. Швидкість поширення повздовжніх пружних хвиль у пісковицх змінюється від 2425 м/с (пісковицх крупнозернистий кварцовий) до 4463 м/с (пісковицх середньозернистий сірий) за середнього значення 3624 м/с, а інтервальний час – від 224 до 412 мс/м за середнього значення 281 мс/м.

У насичених моделлю пластової води алевролітах швидкість повздовжніх хвиль змінюється від 4531 до 5222 м/с за середнього значення 5001 м/с, а інтервальний час – від 191 до 221 мс/м за середнього значення 200 мс/м. Швидкість повздовжніх хвиль у пісковицх змінюється від 3891 до 5360 м/с за середнього значення 4595 м/с, а інтервальний час – від 187 до 257 мс/м за середнього значення 219 мс/м.

У результаті аналізу акустичних досліджень в атмосферних умовах встановлено низку 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 представлено на рис. 6–9.

Аналітичні вирази вищевстановлених кореляційних залежностей наведено нижче:

$$\begin{aligned} V_p &= -13994 \cdot k_n + 5253,7 \text{ при } R^2 = 0,763 - \text{алевроліти;} \\ V_p &= -15323 \cdot k_n + 5407,4, \\ &\text{при } R^2 = 0,836 - \text{ущільнені пісковики;} \\ t_p &= 591,09 \cdot k_n + 189,49, \text{ при } R^2 = 0,779 - \text{алевроліти;} \\ t_p &= 744,48 \cdot k_n + 179,41, \\ &\text{при } R^2 = 0,84 - \text{ущільнені пісковики;} \\ V_p &= 3,2104 \cdot \delta - 3578,7, \text{ при } R^2 = 0,69 - \text{алевроліти;} \\ V_p &= 6,6916 \cdot \delta - 12472, \\ &\text{при } R^2 = 0,807 - \text{ущільнені пісковики;} \\ t_p &= -0,1368 \cdot \delta + 565,75, \text{ при } R^2 = 0,717 - \text{алевроліти;} \\ t_p &= -0,3182 \cdot \delta + 1042,8, \\ &\text{при } R^2 = 0,8 - \text{ущільнені пісковики.} \end{aligned}$$

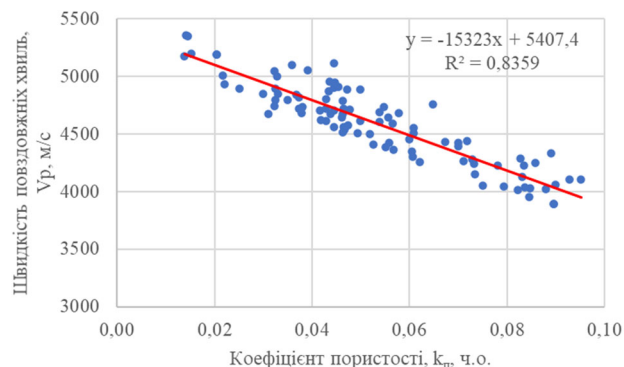
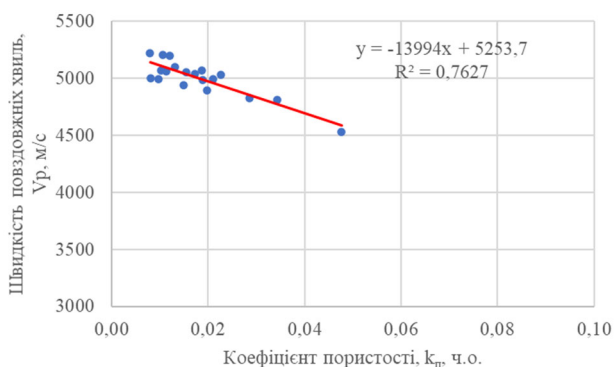


Рис. 6. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_n) і швидкістю повздовжніх хвиль (V_p): а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

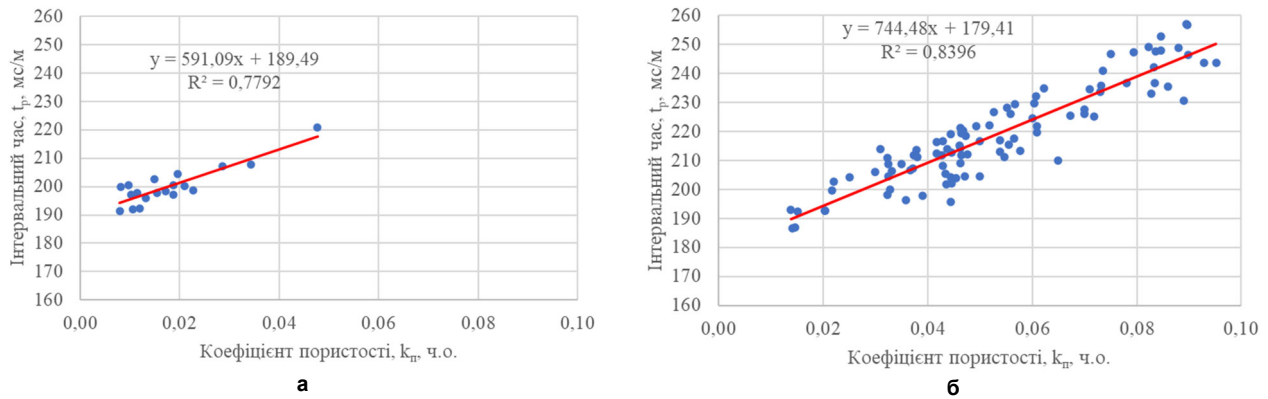


Рис. 7. Кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_p) та інтервальним часом (t_p): а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

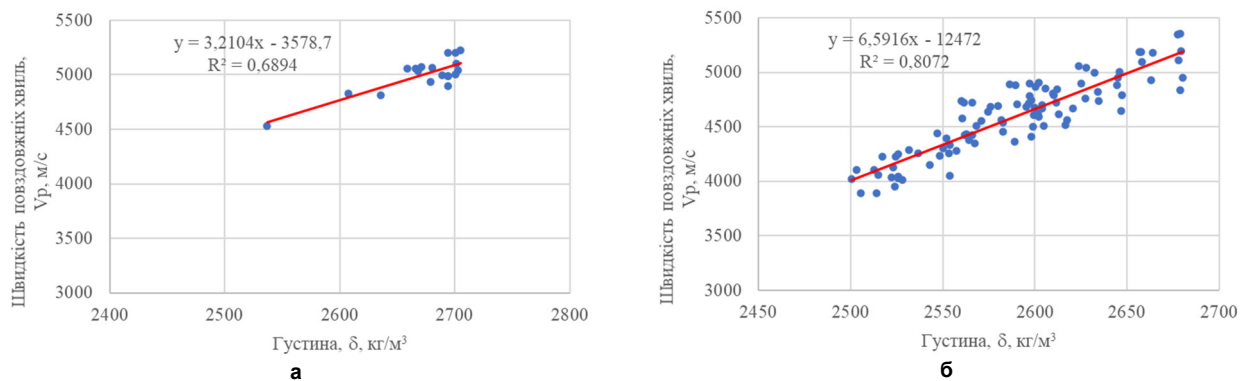


Рис. 8. Кореляційні залежності між густиною (δ) і швидкістю повздовжніх хвиль (V_p): а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

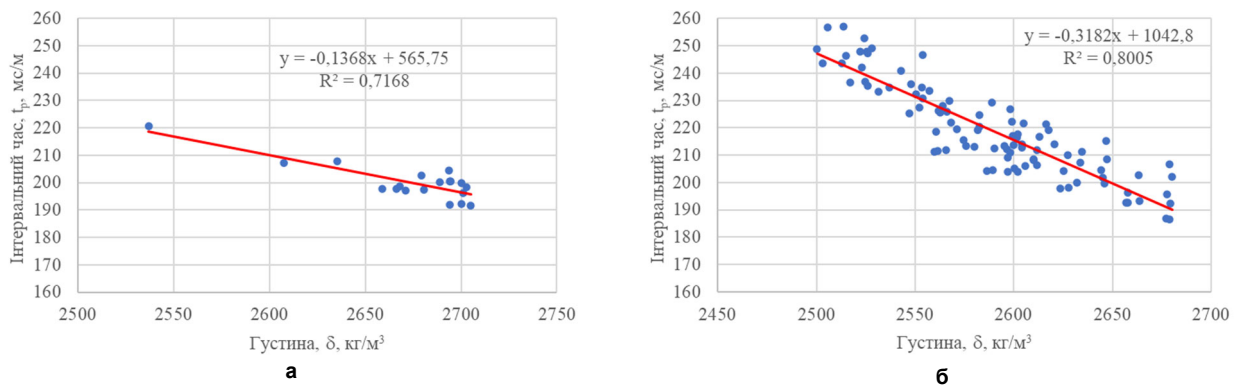


Рис. 9. Кореляційні залежності між густиною (δ) і інтервальним часом (t_p): а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

З метою визначення швидкості поширення повздовжніх хвиль у пластових умовах $V_{p,пл}$ проведені комплексні дослідження на спеціалізованій установці високого тиску ВСЦ-1000. Вимірювання виконувалися на зразках, насичених розчином NaCl. Межі змін і середні значення $V_{p,пл}$ та інтервального часу $t_{p,пл}$ порід у пластових умовах наведено в табл. 2. За допомогою фізичного моделювання пластових умов встановлено, що швидкість повздовжніх хвиль у досліджених породах зростає зі збільшенням тиску. Це відбувається внаслідок закриття в породах мікротріщин та деформації порового простору. Встановлено, що швидкість повздовжніх хвиль змінюється: для алевролітів – від 4309 до 5201 м/с за середнього значення 4899 м/с, а інтервальний час – від 192 до 232 мс/м за середнього значення 204 мс/м. Швидкість повздовжніх хвиль пісковиків змінюється від 3662

до 5622 м/с за середнього значення 4603 м/с, а інтервальний час – від 178 до 273 мс/м за середнього значення 219 мс/м (табл. 2).

У результаті комплексного аналізу даних лабораторних акустичних досліджень для вивчених порід установлені кореляційні залежності між швидкістю повздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах (рис. 10), а також між коефіцієнтом пористості ($k_{p,пл}$) і швидкістю пружних хвиль ($V_{p,пл}$) та інтервальним часом ($t_{p,пл}$) у пластових умовах (рис. 11, 12), які виражаються лінійними функціями.

Аналітичні вирази вищевстановлених кореляційних залежностей наведено нижче:

$$V_{p,пл} = 1,2829 \cdot V_p - 1516,8, \text{ при } R^2 = 0,98 \text{ – алевроліти;}$$

$$V_{p,пл} = 1,2976 \cdot V_p - 1360,1, \text{ при } R^2 = 0,953 \text{ – ущільнені пісковики;}$$

$V_{p,пл} = -28357 \cdot k_{п,пл} + 5295,8$,
при $R^2 = 0,783$ – алевроліти;
 $V_{p,пл} = -21150 \cdot k_{п,пл} + 5553,5$,
при $R^2 = 0,808$ – ущільнені пісковики;

$t_{p,пл} = 1269,9 \cdot k_{п,пл} + 186,72$, при $R^2 = 0,808$ – алевроліти;
 $t_{p,пл} = 1035 \cdot k_{п,пл} + 172,95$,
при $R^2 = 0,812$ – ущільнені пісковики

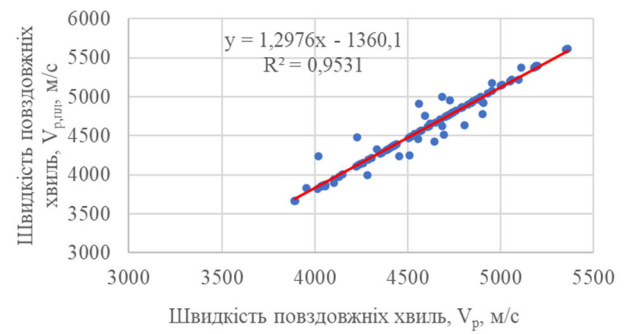
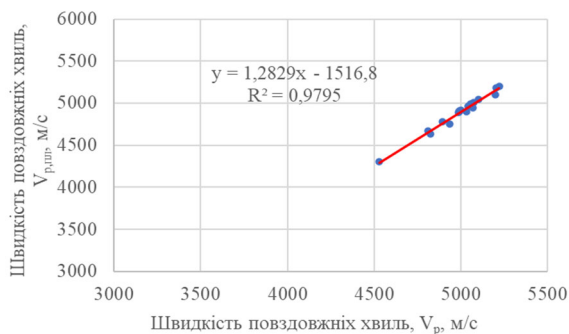


Рис. 10. Кореляційна залежність між швидкістю повздовжніх хвиль в атмосферних (V_p) і пластових ($V_{p,пл}$) умовах: а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

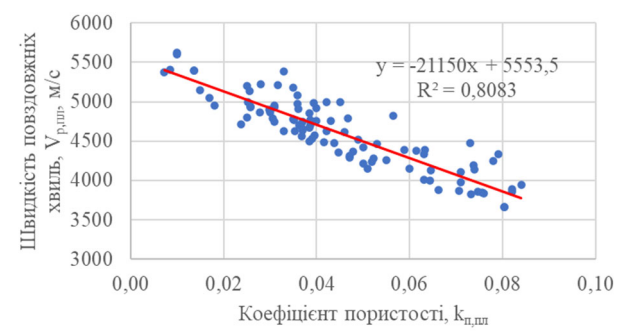
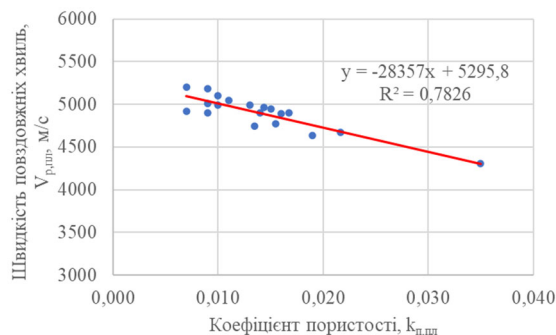


Рис. 11. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) і швидкістю повздовжніх хвиль ($V_{p,пл}$) у пластових умовах: а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

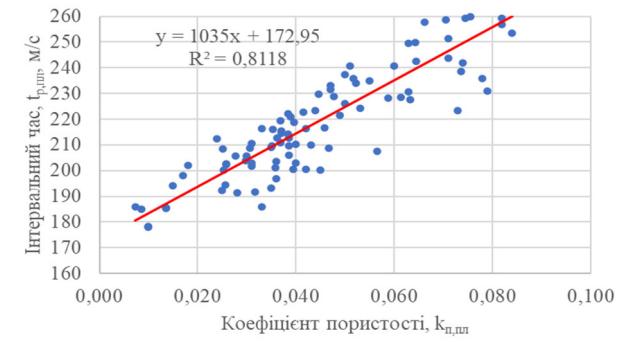
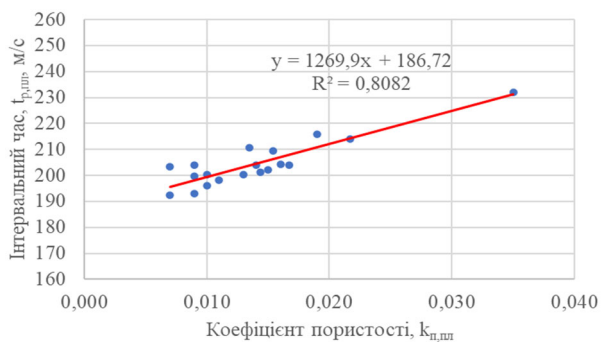


Рис. 12. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) та інтервальним часом ($t_{p,пл}$) у пластових умовах: а – алевроліти; б – ущільнені пісковики

Висновки. У статті наведено результати комплексних досліджень петрофізичних властивостей колекції зі 115 зразків ущільнених порід (пісковиків і алевролітів), відібраних на 3 пошукових площах центрального грабена ДДЗ в інтервалах глибин від 3618 до 5650 м.

Лабораторними електрометричними вимірюваннями встановлено, що питомий електричний опір мінерального скелета (опір сухих екстрагованих порід) змінюється: для алевролітів – від 4,447 до 74,4 кОм·м (середнє значення 36,398 кОм·м); для пісковиків – від 31,392 кОм·м до 456,569 МОм·м (середнє значення 22,912 МОм·м). Значні варіації питомого опору зразків пояснюються неоднорідностями у структурі та текстурі порід (наявність глинистих і піщаних прошарків та включень). Питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової рідини,

змінюється: для алевролітів – від 5,8 до 21,8 Ом·м (середнє значення 11,7 Ом·м); для пісковиків – від 2,1 до 18,9 Ом·м (середнє значення 6,4 Ом·м). За середніми значеннями опорів алевроліти і пісковики суттєво відрізняються.

У результаті петрофізичних досліджень визначено відносний електричний опір порід в атмосферних умовах. Цей параметр змінюється: для алевролітів – від 71,2 до 265,5 (середнє значення 142,5); для пісковиків – від 25,2 до 230,4 (середнє значення 77,5).

На основі проведених електрометричних досліджень способом центрифугування зразків установлено кореляційний зв'язок між параметром збільшення електричного опору і коефіцієнтом водонасичення, який виражається степенною функцією.

У результаті фізичного моделювання пластових умов встановлено, що питомий електричний опір змінюється: для алевролітів – від 0,8 до 5,6 Ом-м (середнє значення 2,4 Ом-м); для пісковиків – від 0,3 до 2,5 Ом-м (середнє значення 0,8 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 другого порядку. Однак збільшення температури в пластових умовах спричинює зворотний процес – опір зменшується. Дослідженнями відносного електричного опору порід у пластових умовах встановлено, що цей параметр змінюється: для алевролітів – від 276,7 до 1853,3 (середнє значення 804,9); для пісковиків – від 88,5 до 1074,5 (середнє значення 323,7).

У результаті комплексного аналізу матеріалів електрометричних досліджень для порід встановлено кореляційні зв'язки 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 знаходяться в пластових умовах.

Акустичними вимірюваннями в атмосферних умовах встановлено, що швидкість поширення повздовжніх хвиль у сухих екстрагованих породах змінюється: для алевролітів – від 3810 до 5177 м/с (середнє значення 4653 м/с); для пісковиків – від 2425 до 4463 м/с (середнє значення 3624 м/с). Швидкість повздовжніх хвиль порід, насичених моделлю пластової води, змінюється: для алевролітів – від 4531 до 5222 м/с (середнє значення 5001 м/с); для пісковиків – від 3891 до 5360 м/с (середнє значення 4595 м/с).

У результаті фізичного моделювання пластових умов встановлено, що швидкість повздовжніх хвиль змінюється: для алевролітів – від 4309 до 5201 м/с (середнє значення 4899 м/с); для пісковиків – від 3662 до 5622 м/с (середнє значення 4603 м/с). Зі збільшенням тиску швидкість повздовжніх хвиль зростає внаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору. Залежність збільшення швидкості від тиску описується поліномом другого порядку.

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

Кореляційні залежності акустичних та електричних 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 центрального грабена ДДЗ.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №21БП049-01.

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

Список використаних джерел

- 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, 31–35.
- 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., Олійник, О.В., Рева, М.В., Шабатура, 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 газонафтоносного 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 прибережної 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., Орлюк, М.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2021б). Електричні і пружні параметри ущільнених порід карбону східної частини північної прибережної 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). Петрофизические 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 нефтегазонасыщения пород. М.: Недра.
- 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.
- 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., Загітко, В.М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Кн. IV. К.: ВПЦ "Київський університет".
- Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2013). Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепро-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*. Київ: УкрДГРІ, 62–66.

Породы горные. (1985). Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации: ГОСТ 26450.2–85. М.: Миннео СССР.

Продайвода, Г.Т. (2004). Акустика текстур гірських порід. Київ: ВГЛ "Обрії".

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.

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

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.І., Русаков, О.М. (2015). Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Киев: "Галактика".

Тябб, Д., Дональдсон, Э.Ч. (2009). Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. "Премиум Инжиниринг".

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's'kiy 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

Reference

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-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 68, 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, 99–105. <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 the Central depression of the Dnieper-Donetsk depression in connection with the prediction of its oil and gas potential. *The Theoretical and applied problems of oil and gas geophysics*, Kyiv, 62–66. [in Ukrainian]

Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2013). Physical parameters of rocks sedimentary cover of the northwestern part of the Dnieper-Donets depression. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 35, 2, 12–136. [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's'kiy 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. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 33, 6, 136–151. [in Russian]

Prodayvoda, G.T. (2004). Acoustics textures of rocks. Kyiv: Horizons. [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: UkrDHRI.

Rybalka, S., Karpenko, O. (2016). Central part of the Dnieper-Donets 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. [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. <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. [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. 2th Edition. Moscow: Premium Engineering. (Original work published 2004). [in Russian]

Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., Onyshchuk, I. (2014b). 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. (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. <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. (2019b). Petrophysical parameters of rocks of the Visean stage (Lokhvitsky zone of the Dnieper-Donets Basin). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41, 2, 145–160. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Electrical and acoustic parameters of lower permian carbonate rocks (western part of the Hlynsko-Solokhiv's'kiy of gas-oil-bearing district of the Dnieper-Donets 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. (2021a). 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, N., Shabatura, O. (2018). Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 83, 30–37. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, N., Shabatura, O. (2019a). Electrical parameters of the upper carbon rocks (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 85, 37–45. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Orlyuk, M., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2021b). 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. (2014a). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-Donets 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 21.03.22

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: oivan1@ukr.net;
M. Reva, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
O. Shabatura, Dr. Sci. (Geol.),
E-mail: dard@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ELECTRIC AND ELASTIC PROPERTIES OF DEEP-SEATED CONSOLIDATED ROCKS OF CARBONIFEROUS PERIOD OF THE CENTRAL GRABEN OF THE DNIEPER-DONETSK DEPRESSION

Paper concerned the research of elastic and electric properties of deep-seated consolidated terrigenous rocks of Carboniferous period of the Central graben of the Dnieper-Donetsk depression (DDD).

The purpose of the research was to study the petrophysical parameters of the consolidated reservoir rocks, as the basis of the integrated analysis of their physical properties. Such electric and elastic parameters of rock samples as resistivity and formation resistivity factor, formation resistivity enlargement factor, velocities of the P-waves and interval (transit) time have been studied.

The correlation analysis has allowed establishing a series of empirical relationships between resistivity and formation resistivity factor, and between porosity and formation resistivity factor in atmospheric and reservoir conditions. The correlation relationships of the resistivity with 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 siltstones and sandstones managed to establish correlation relationships 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 dependence of the velocities of the P-waves in atmospheric and reservoir conditions for the studied rocks manifest 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 correlation relationships of the electric and elastic properties with reservoir properties of siltstones and consolidated sandstones which were obtained in laboratory petrophysical research should be at the basis of preliminary interpretation of geophysical data on new areas of the Central graben of DDD.

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