

Петрофізичні параметри порід візейського ярусу Лохвицької зони Дніпровсько-Донецької западини

С. А. Вижива¹, В. І. Онищук¹, І. І. Онищук¹, М. І. Орлюк^{1,2}, В. В. Друкаренко²,
М. В. Рева¹, О. В. Шабатура¹, 2019

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ «Інститут геології», Київ, Україна

²Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 20 лютого 2019 р.

Приведены результаты комплексных исследований петрофизических свойств коллекции образцов пород визейского яруса из скважин Лохвицкой зоны Днепровско-Донецкой впадины (песчаников и песчаников алевритистых в интервале глубин 5060—5600 м и известняков в интервале глубин 5960—6200 м). Определены коэффициент пористости, удельное и относительное электрическое сопротивление, скорость распространения продольных и поперечных волн, объемная магнитная восприимчивость пород. Исследование электрических и акустических свойств проводилось в атмосферных и смоделированных пластовых условиях на сухих и насыщенных моделью пластовой воды породах. Относительное снижение коэффициента пористости пород при изменении атмосферных условий на пластовые составляет от 5,5 до 25 % (среднее 11,5 %). Среднее значение электрического сопротивления песчаников превышает аналогичный показатель песчаников алевритистых в 1,2 раза, а известняков — в 12 раз. Установлено, что в результате закрытия микро трещин и деформации порового пространства электрическое сопротивление пород возрастает с увеличением давления. Сухие песчаники и песчаники алевритистые по средним значениям скоростных параметров практически не различаются, а известняки характеризуются повышенной скоростью распространения (примерно на 30 %) поперечных волн. Насыщенные породы почти не различаются по средним значениям скорости распространения поперечной волны. Среднее значение скорости продольных волн в песчаниках превышает на 17 % этот показатель для песчаников алевритистых. Объемная магнитная восприимчивость исследованных пород изменяется в довольно широких пределах. Высокими ее значениями характеризуются песчаники, у известняков среднее значение этого параметра в 58 раз меньше. По средним значениям физических параметров песчаников и песчаников алевритистых четко прослеживаются прямая зависимость между магнитной восприимчивостью, плотностью и электрическим сопротивлением и обратная — между данными параметрами и пористостью. Результаты исследований могут быть использованы для определения перспективности пород разного состава, моделирования их свойств для различных глубин залегания и количественного определения структуры их пустотного пространства. Полученные зависимости между различными параметрами позволяют уточнить интерпретацию данных геофизических исследований скважин.

Ключевые слова: пористость, удельное электрическое сопротивление, относительное электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн, корреляционные зависимости, песчаники, известняки.

Вступ. Проблема пошуків і вивчення традиційних й нетрадиційних (сланцевий газ, сланцева нафта, газ ущільнених колек-

торів та ін.) джерел вуглеводнів на сучасному етапі набуває все більшої актуальності. Для оцінювання перспективності на вуг-

леводні геологічних структур і комплексів крім економічних та геолого-геометричних параметрів, вмісту органічної речовини і ступеня її термічної переробки важливе значення мають петрофізичні властивості гірських порід. Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень щодо зміни питомого електричного опору, швидкості поширення (далі — швидкості) пружних хвиль і магнітних параметрів порід, використовують для інтерпретації результатів електрометричних і акустичних методів досліджень свердловин та польової електророзвідки, сейсморозвідки й магнітометрії.

Незважаючи на велику кількість публікацій [Нестеренко, 2010; Вижва та ін., 2010, 2012—2014, 2016—2018; Орлюк, Пашкевич, 2011; Садівник та ін., 2013; Михайлов та ін., 2014а,б; Карпенко та ін., 2015; Vyzhva et al., 2017; Маслов та ін., 2017; Орлюк, Друкаренко, 2018; Orlyuk et al., 2018a,b; Федоришин, 2018 та ін.], для деяких порід-колекторів практично відсутні узагальнюючі результати лабораторних електрометричних, акустичних і магнітних досліджень та їх кореляційні залежності з фільтраційно-ємнісними параметрами.

У межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) широко поширені відклади візейського ярусу нижнього карбону (C_3), перспективні на вуглеводні. Породи візейського ярусу Лохвицької зони ДДЗ представлені пісковиками, алевритистими пісковиками і вапняками. Пісковики мають середній ступінь цементації та пористості, практично нетріщинуваті. Їх розглядають як колектори традиційних родовищ нафти і газу, часто пов'язаних з породами нижнього карбону.

Виконаний у науково-дослідній лабораторії теоретичної і прикладної геофізики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка комплекс експериментальних петрофізичних досліджень охоплював визначення густини, відкритої пористості, питомого електричного опору, швидкості пружних хвиль в атмосферних і пластових умовах. Об'ємну магнітну сприйнятливість

вимірювали в ЦКК «Магнітна станція Демидів» Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України.

У статті наведено результати комплексних досліджень петрофізичних властивостей 245 зразків порід візейського ярусу із свердловин Лохвицької зони (пісковиків і алевритистих пісковиків в інтервалі глибин 5060—5600 м та вапняків у інтервалі глибин 5960—6200 м). Лохвицька зона розміщується на північно-західному продовженні Солохівсько-Диканського структурного валу ДДЗ. Промислову продуктивність встановлено у пісковиках та алевритистих пісковиках горизонтів В-16—В-19. Досліджені вапняки належать до горизонтів В-24, В-26.

Методика петрофізичних досліджень. Об'ємну густину досліджених порід у сухому стані визначали шляхом зважування лабораторних зразків з визначенням їх геометричних розмірів, а насичених — методом гідростатичного зважування за стандартною методикою [Інструкція..., 1977; Дортман, 1992; Тиаб, Доналдсон, 2009]. Для зважувань застосовували цифрові аналітичні ваги WPS 360/c/2 (точність $\pm 0,001$ г).

Під час лабораторних досліджень коефіцієнт відкритої пористості визначали ваговим методом за стандартною методикою [Інструкція..., 1977; Дортман, 1992; Тиаб, Доналдсон, 2009]. Зразки гірських порід насичували розчином NaCl з мінералізацією 160 г/л (модель пластової води). Середня відносна похибка визначень коефіцієнта пористості становила 1,2 %.

Для лабораторних електрометричних вимірювань зразків керна, насичених розчином NaCl (модель пластової води), застосовували RCL-метр МНС-1100 [Вижва та ін., 2010, 2012—2014, 2017; Vyzhva et al., 2017]. Циліндричні зразки під час вимірювання розташовували у спеціальному кернотримачі з електродами, що не поляризуються. Середня відносна похибка визначення електричного опору порід у рамках виконаних досліджень дорівнювала 2,3 %.

Для дослідження швидкостей пружних хвиль у гірських породах застосова-

но імпульсно-фазовий ультразвуковий метод. Швидкість пружних хвиль вимірювали за допомогою лабораторної цифрової установки «Керн-4» [Вижива, Безродна., 2016] на спеціально виготовлених лабораторних зразках, що були орієнтовані вздовж нашарування. Під час контрольних вимірювань на еталонах і зразках було встановлено, що відносна похибка вимірювань не перевищує 2 %.

Для визначення кореляційного зв'язку між емісійними, електричними та акустичними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано комплекс петрофізичних досліджень із фізичним моделюванням пластових умов (температура $t = 140$ °C; тиск $p = 58$ МПа; мінералізація $M = 160$ г/л).

Об'ємну магнітну сприйнятливість вимірювали за допомогою капаметра МФК1-В (Multi-function kappabridge) з чутливістю $2 \cdot 10^{-8}$ СІ в Інституті геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України.

Аналіз даних лабораторних досліджень. У результаті комплексних лабораторних досліджень визначено петрофізичні параметри основних типів порід-колекторів візейського ярусу Лохвицької зони. Відомості про межі змін і середні значення петрофізичних параметрів порід залежно від їх літології наведено в таблицях.

Густина. Густина — важливий параметр

гірських порід, що залежить від їх мінерального складу, структурно-текстурних особливостей, пористості, виду речовини, що заповнює пори і пустоти (газ, нафта, вода), а також від умов утворення і залягання. В процесі комплексних петрофізичних досліджень експериментально визначено густина сухих екстрагованих порід, насичених розчином NaCl з мінералізацією 160 г/л (модель (пластової води) та розраховано уявну мінералогічну густина (табл. 1)).

Згідно з результатами лабораторних визначень, густина сухих зразків порід змінюється від 2282 (алевритистий пісковик) до 2725 кг/м³ (вапняк) за середнього значення 2553 кг/м³, а насичених моделлю пластової води — від 2432 (алевритистий пісковик) до 2738 кг/м³ (вапняк) за середнього значення 2608 кг/м³. Уявна мінералогічна густина порід змінюється від 2632 (пісковик) до 2756 кг/м³ (вапняк), за її середнього значення 2688 кг/м³. Відомості про межі змін і середні значення густих параметрів порід залежно від літології наведено в табл. 1. Широкі межі зміни густини досліджених порід засвідчують мінливість як літологічного складу зразків керна, так і пористості порід.

Пористість. Пустотний простір породи характеризується пористістю, а здатність породи пропускати через себе флюїди —

Т а б л и ц я 1. Межі змін і середні значення параметрів порід візейського ярусу

Порода	Значення параметра	Густина, кг/м ³			Коефіцієнт пористості, k_p , ум. од.	
		Сухі зразки	Насичені зразки	Уявна мінералогічна	В атмосферних умовах	В пластових умовах
Пісковик	Мінімальне	2319	2466	2666	0,017	0,009
	Максимальне	2619	2659	2747	0,143	0,135
	Середнє	2488	2568	2682	0,071	0,063
Алевритистий пісковик	Мінімальне	2282	2432	2632	0,013	0,006
	Максимальне	2670	2657	2743	0,134	0,126
	Середнє	2464	2547	2663	0,074	0,066
Вапняк	Мінімальне	2654	2657	2662	0,002	—
	Максимальне	2725	2738	2756	0,011	—
	Середнє	2704	2710	2718	0,005	—

проникністю. Ці властивості породи для кожного типу флюїду визначають його об'єм, швидкість руху і технологію видобутку. Іншими важливими властивостями порід-колекторів є їх структура й вміст води (залежно від капілярного тиску), а також звивистість порових каналів. Структура осадових порід значною мірою визначається формою й окатаністю зерен, їх розмірами, сортуванням, орієнтуванням і типом упаковки, а також хімічним складом [Інструкція..., 1977; Дортман, 1992; Тиаб, Доналдсон, 2009]. Комплексне вивчення цих параметрів дає змогу отримати інформацію про діагенетичні й катагенетичні процеси та про механізми, які діяли під час транспортування і відкладення осадового матеріалу, ущільнення і деформації осадів [Тиаб, Доналдсон, 2009]. За структурою породи візуально на якісному рівні можна оцінити ступінь її пористості й проникності. Зміни проникності можна прогнозувати виходячи зі змін розміру й

форми частинок, а також розподілу пустотних каналів у породі.

Пористість породи — важливий параметр, який визначає ємність колектора, тобто властивість породи містити флюїди (нафту, газ і воду). Розрізняють загальну, відкриту та ефективну пористість [Інструкція..., 1977; Дортман, 1992; Тиаб, Доналдсон, 2009].

Загалом підвищеними значеннями пористості характеризуються досліджені пісковики. Вапняки мають низьку пористість. Відомості про межі змін та середні значення коефіцієнта пористості порід залежно від їх виду наведено у табл. 1.

Згідно з аналізом даних лабораторних досліджень, коефіцієнт пористості порід, визначений шляхом насичення їх рідиною, змінюється від 0,002 (вапняк) до 0,143 (пісковик).

Установлено кореляційні залежності між густиною досліджених пісковиків та їх коефіцієнтом пористості (рис. 1). Ці за-

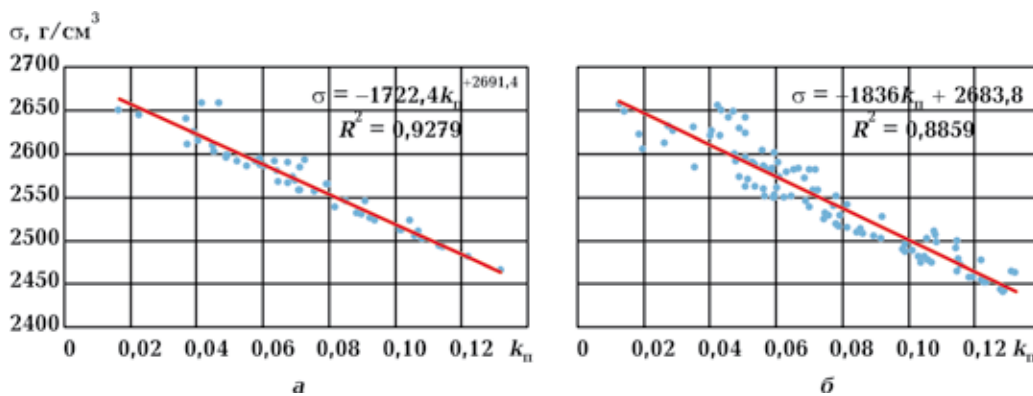


Рис. 1. Залежність густини пісковиків (а) і алевритистих пісковиків (б) від коефіцієнта відкритої пористості.

Таблиця 2. Розподіл порід на класи колекторів

Порода	Клас колектора	Відносна кількість зразків, %	Пористість (k_n)
Пісковик	III	18,9	Середня (0,1—0,2)
	IV	54,7	Низька (0,05—0,1)
	V	26,4	Дуже низька (< 0,05)
Алевритистий пісковик	III	20,4	Середня (0,1—0,2)
	IV	57,2	Низька (0,05—0,1)
	V	22,4	Дуже низька (< 0,05)
Вапняк	V	100	Дуже низька (< 0,05)

лежності описують за допомогою лінійних функцій:

пісковики —

$$\sigma = -1722,4k_{\Pi} + 2691,4 \text{ при } R^2 = 0,928;$$

алевритисті пісковики —

$$\sigma = -1836k_{\Pi} + 2683,8 \text{ при } R^2 = 0,886,$$

де σ — густина, кг/м^3 ; k_{Π} — коефіцієнт відкритої пористості. Графіки цих залежностей показано на рис. 1.

За результатами лабораторних петрофізичних досліджень розроблено класифікацію порід за відкритою пористістю. Згідно зі значеннями цього параметра, досліджені породи візейського ярусу належать до III—V класів колекторів [Дахнов, 1975]. Розподіл порід на класи колекторів наведено в табл. 2.

За допомогою лабораторних вимірювань з використанням установки високого тиску ВСЦ-1000 оцінено зміну коефіцієнта пористості у пластових умовах ($p = 58 \text{ МПа}$, $t = 140 \text{ }^\circ\text{C}$). Згідно з результатами лабораторних досліджень пористості порід у змодельованих пластових умовах, цей параметр змінюється від 0,006 (алевритистий пісковик) до 0,135 (пісковики) за середнього значення 0,065. Експериментальні дослідження дали змогу також отримати кореляційну залежність між коефіцієнтами пористості в атмосферних і пластових умовах, що визначені шляхом насичення зразків розчином NaCl (моделлю пластової води). Кореляційне рівняння зв'язку коефіцієнт пористості (атмосферні умови)—коефіцієнт пористості

(пластові умови) для досліджених пісковиків та алевритистих пісковиків має вигляд: $k_{\Pi, \text{пл.}} = 0,9932k_{\Pi} - 0,0071$ при $R^2 = 0,981$ (рис. 2).

Унаслідок закриття мікротріщин порід під навантаженням під час моделювання пластових умов пористість порід зменшується порівняно з пористістю в атмосферних умовах. Аналіз даних показує, що для досліджених пісковиків відносно зниження коефіцієнта пористості за зміни атмосферних умов на пластові становить від 5,5 до 25 % за середнього значення 11,5 %.

Електричні параметри. За результатами лабораторних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір ρ насичених розчином NaCl (моделлю пластової рідини) пісковиків змінюється від 1,41 до 15,80 Ом·м за середнього значення 4,80 Ом·м. Діапазон зміни питомого електричного опору насичених алевритистих пісковиків — від 1,05 до 16,20 Ом·м за середнього значення 4,05 Ом·м, а насичених вапняків — від 21,60 до 97,50 Ом·м за середнього значення 57,8 Ом·м (табл. 3). Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує аналогічний показник алевритистих пісковиків у 1,2 раза, що пояснюється вищою глинистістю алевритистих пісковиків. Середнє значення електричного опору вапняків перевищує за цим параметром пісковики у 12 разів. Це пов'язане з переважним впливом на електричну провідність порід пластової води (розчину NaCl) у їхніх порах, якої у пісковиках більше внаслідок підвищеної пористості останніх. Спостерігаються і значні варіації питомого опору зразків, зумовлені неоднорідністю їхньої текстури (наявністю глинистих і піщанистих прошарків та їх невпорядкованістю).

У результаті лабораторних електрометричних досліджень визначено відносний електричний опір порід — відношення питомого опору повністю насиченої породи до питомого опору насичувального розчину [Дахнов, 1975; Тиаб, 2009] (табл. 3). Згідно з аналізом отриманих даних, відносний електричний опір пісковиків змінюється від 15,1 до 169,3 за середнього значення

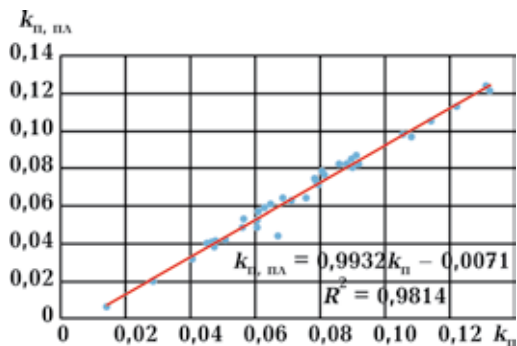


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтами пористості пісковиків та алевритистих пісковиків за пластових ($k_{\Pi, \text{пл.}}$) і атмосферних (k_{Π}) умов.

Таблиця 3. Межі змін і середні значення електричних параметрів порід візейського ярусу

Порода	Значення параметра	Атмосферні умови		Пластові умови	
		ρ (NaCl), Ом·м	P	$\rho_{пл}$ (NaCl), Ом·м	$P_{пл}$
Пісковик	Мінімальне	1,41	15,1	0,72	10,2
	Максимальне	15,80	169,3	7,61	464,0
	Середнє	4,80	51,4	2,28	112,0
Алевритистий пісковик	Мінімальне	1,05	11,3	0,49	4,5
	Максимальне	16,20	173,6	7,81	476,6
	Середнє	4,05	43,4	1,95	92,3
Вапняк	Мінімальне	21,60	231,8	—	—
	Максимальне	97,50	1044,3	—	—
	Середнє	57,80	619,4	—	—

51,4. Відповідний діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,017 до 0,143 за середнього значення 0,071. Відносний електричний опір алевритистих пісковиків змінюється у межах від 11,3 до 173,6 (середнє значення 43,4), а коефіцієнт пористості — від 0,013 до 0,134 (середнє значення 0,074). Для вапняків цей параметр змінюється у межах від 231,8 до 1044,3 (середнє значення 619,4), а коефіцієнт пористості — від 0,002 до 0,011 (середнє значення 0,005).

За матеріалами лабораторних досліджень побудовано кореляційні залежності

коефіцієнта пористості ($k_{п}$) і відносного електричного опору (P) вигляду $P = ak_{п}^{-m}$, де a — постійний коефіцієнт, m — структурний показник (рівняння Арчі—Дахнова [Дахнов, 1975; Тиаб, 2009]) для пісковиків, алевритистих пісковиків і вапняків (рис. 3).

Для пісковиків та алевритистих пісковиків коефіцієнти a становлять 1,9414 і 2,0714 відповідно, а структурні показники m мають близькі значення: 1,146 та 1,064 відповідно. Вапняки порівняно з пісковиками за цими параметрами помітно різняться: коефіцієнт a дорівнює 5,803, структурний

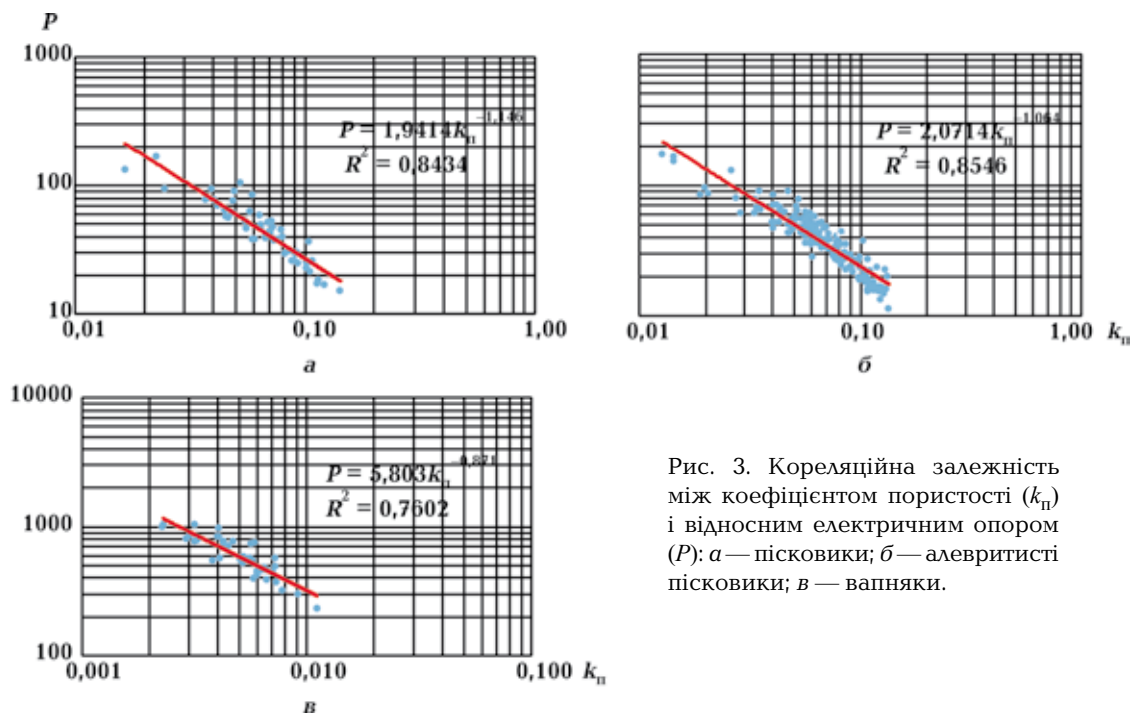


Рис. 3. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п}$) і відносним електричним опором (P): а — пісковики; б — алевритисті пісковики; в — вапняки.

показник m — 0,871.

З метою оцінювання питомого та відносного електричного опору порід у пластових умовах виконано комплексні дослідження за допомогою спеціальної установки високого тиску ВСЦ-1000; тиск змінювали від атмосферного до 58 МПа. Вимірювання виконували на зразках пісковиків і алевритистих пісковиків, насичених розчином NaCl. Межі змін та середні значення питомого й відносного електричного опору порід у пластових умовах залежно від їх літологічних різновидів наведено в табл. 3. За результатами лабораторних електрометричних вимірювань під час фізичного моделювання пластових умов встановлено, що питомий електричний опір ρ порід змінюється від 0,49 до 7,81 Ом·м. При цьому діапазон зміни питомого електричного опору пісковиків становить від 0,72 до 7,61 Ом·м за середнього значення 2,28 Ом·м, а алевритистих пісковиків — від 0,49 до 7,81 Ом·м

за середнього значення 1,95 Ом·м. Питомий електричний опір вапняків за пластових умов не вивчали. Середнє значення цього параметра пісковиків перевищує в 1,169 раза його значення для алевритистих пісковиків.

У результаті аналізу даних встановлено, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору питомий електричний опір порід зростає з підвищенням тиску. Залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p) для досліджених порід виражено поліномами 2-го порядку.

Аналіз даних показав, що відносний електричний опір пісковиків у пластових умовах змінюється в діапазоні від 10,2 до 464 при середньому значенні 112, а відповідний діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,009 до 0,135 при середньому значенні 0,063. Для алевритистих пісковиків діапазон зміни відносного елек-

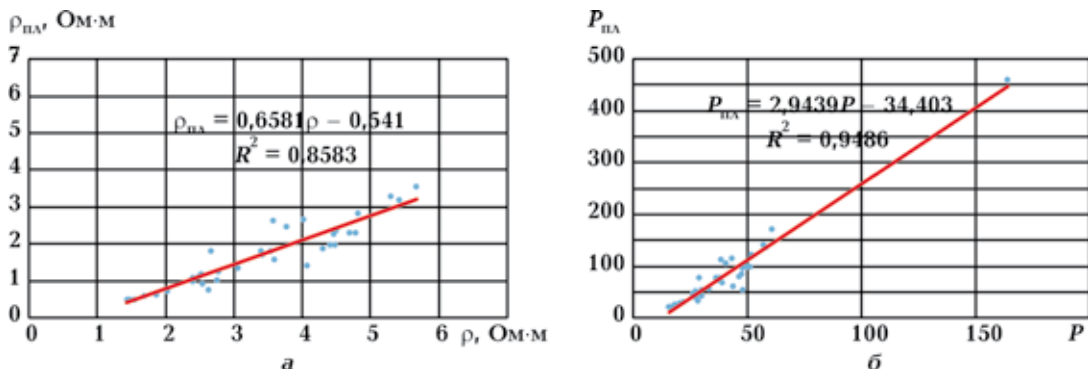


Рис. 4. Кореляційна залежність між питомим (а) і відносним (б) електричним опором пісковиків та алевритистих пісковиків у атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах.

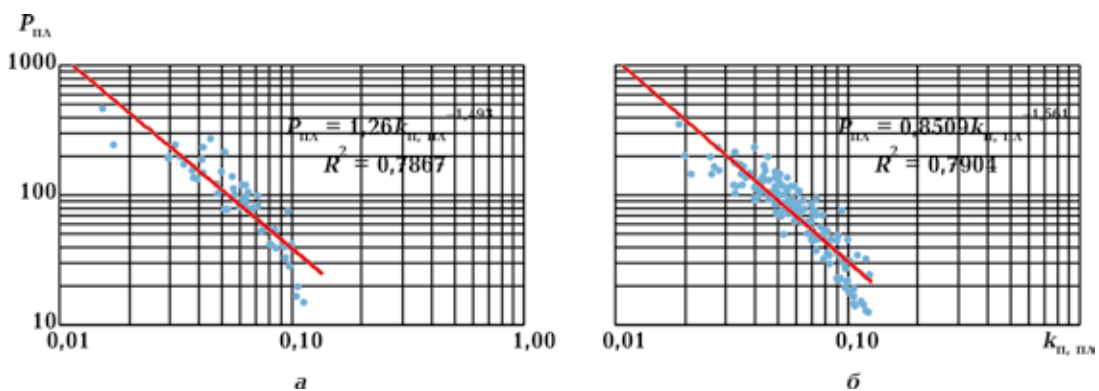


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п, пл}$) та відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків (а) і алевритистих пісковиків (б) у пластових умовах.

тричного опору в пластових умовах варіює від 4,5 до 476,6 при середньому значенні 92,3, коефіцієнта пористості — від 0,006 до 0,126 при середньому значенні 0,066.

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних вимірювань дав змогу отримати для пісковиків і алевритистих пісковиків кореляційні зв'язки між питомим електричним опором ρ в атмосферних і пластових умовах (рис. 4, а), між відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах (рис. 4, б), між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) у пластових умовах (рис. 5).

У пластових умовах для досліджених пісковиків і алевритистих пісковиків отримано залежності Арчі—Дахнова.

Аналіз даних засвідчує, що в пластових умовах для досліджених порід коефіцієнт a рівняння Арчі—Дахнова змінюється від 1,26 (пісковики) до 0,8509 (алеверитисті пісковики), а структурний показник m — відповідно від 1,493 до 1,561.

Пружні параметри. За результатами лабораторних акустичних вимірювань (табл. 4) в атмосферних умовах встановлено, що швидкість поздовжніх хвиль у сухих екстрагованих породах змінюється від 2228 (алеверитистий пісковик) до 4677 м/с

(вапняк), а в насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl) — від 3516 (алеверитистий пісковик) до 6873 м/с (вапняк).

Швидкість поперечних хвиль у сухих екстрагованих породах змінюється від 1441 (алеверитистий пісковик) до 3959 м/с (вапняк), а в насичених моделлю пластової води — від 2634 (вапняк) до 3780 м/с (алеверитистий пісковик). Відношення V_p/V_s у сухих екстрагованих породах змінюється від 1,036 до 2,190 (алеверитистий пісковик), а в насичених моделлю пластової води — від 1,155 (пісковик алевритистий) до 2,388 (вапняк).

Слід зауважити, що сухі пісковики і алевритисті пісковики за середніми значеннями швидкісних параметрів практично не різняться, а вапняки характеризуються підвищеними значеннями швидкостей (приблизно на 30 %). Насичені породи практично не відрізняються за середніми значеннями швидкості поперечної хвилі.

Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості ($k_{п}$), густиною (σ) і швидкісними параметрами для пісковиків та алевритистих пісковиків сухих екстрагованих і насичених розчином NaCl. Їх описано за допомогою лінійних функцій, формули яких наведено в табл. 5. Через вкрай незначний діапазон зміни по-

Таблиця 4. Межі змін і середні значення пружних параметрів порід візейського ярусу

Порода	Значення параметра	Атмосферні умови						Пластові умови
		Породи сухі екстраговані			Породи, насичені розчином NaCl			
		V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s	V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s	
Пісковик	Мінімальне	2458	2082	1,105	3633	2895	1,235	4228
	Максимальне	4267	2787	1,532	5257	3544	1,526	5257
	Середнє	3287	2465	1,330	4375	3216	1,359	4698
Алеверитистий пісковик	Мінімальне	2228	1441	1,036	3516	2792	1,155	3695
	Максимальне	4518	3430	2,190	5203	3780	1,466	4321
	Середнє	3375	2183	1,597	4289	3290	1,300	4012
Вапняк	Мінімальне	3638	2385	1,071	5923	2634	1,800	—
	Максимальне	4677	3959	1,689	6873	3467	2,388	—
	Середнє	4312	3244	1,336	6235	3136	1,998	—

Таблиця 5. Кореляційні залежності між густиною, пористістю і швидкістю поширення пружних хвиль у пісковиках та алевритистих пісковиках візейського ярусу

Кореляційне рівняння	R^2	Порода, її стан
$V_p = -13966k_{\Pi} + 4271,7$	0,778	Піскови́к, сухий екстрагований
$V_p = -12661k_{\Pi} + 5267,9$	0,759	Піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_p = 4,5994\sigma - 8176,9$	0,632	Піскови́к, сухий екстрагований
$V_p = 6,6\sigma - 12593$	0,690	Піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_s = -4968,9k_{\Pi} + 2815,4$	0,558	Піскови́к, сухий екстрагований
$V_s = -4451k_{\Pi} + 3529,5$	0,685	Піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_s = 1,5402\sigma - 1373,2$	0,563	Піскови́к, сухий екстрагований
$V_s = 2,3293\sigma - 2769,5$	0,590	Піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_p = -6940k_{\Pi} + 3882,1$	0,430	Алевритистий піскови́к, сухий екстрагований
$V_p = -13248k_{\Pi} + 5271,5$	0,812	Алевритистий піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_p = 2,3184\sigma - 2346,3$	0,428	Алевритистий піскови́к, сухий екстрагований
$V_p = 6,8815\sigma - 13248$	0,830	Алевритистий піскови́к, насичений розчином NaCl
$V_s = -4981,8k_{\Pi} + 3656,7$	0,609	Те саме
$V_s = 2,3986\sigma + 2824,5$	0,530	» »

Примітка. Швидкість поширення хвиль (м/с): V_p — поздовжніх, V_s — поперечних; σ — густина (кг/м³); k_{Π} — коефіцієнт пористості.

ристості й густини вапняків не встановлено їх кореляційних залежностей з пружними параметрами.

Як приклад на рис. 6, 7 показано графіки встановлених залежностей для насичених розчином NaCl води піскови́ків.

За допомогою спеціальної установки

високого тиску ВСЦ-1000 (тиск змінювали від атмосферного до 58 МПа) оцінено швидкість поздовжніх хвиль у пластових умовах на зразках піскови́ків і алевритистих піскови́ків, насичених розчином NaCl (див. табл. 3). За результатами лабораторних акустичних вимірювань під час

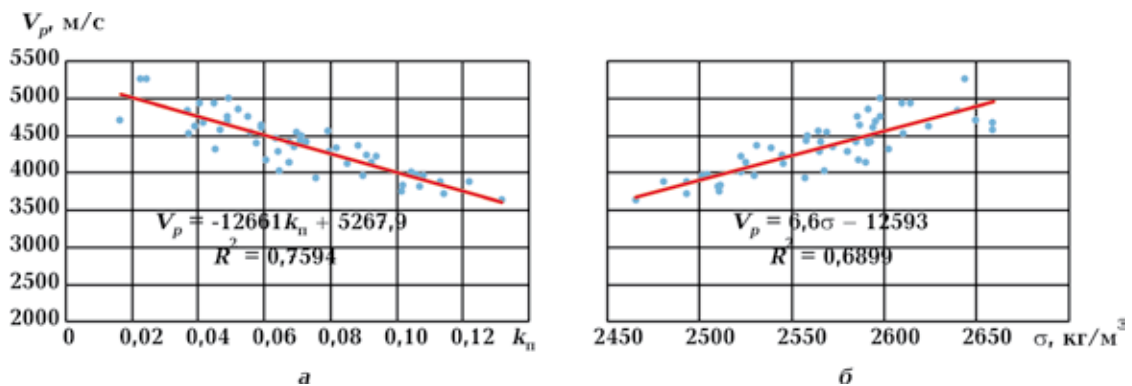


Рис. 6. Кореляційні залежності швидкості поширення поздовжніх хвиль у піскови́ках від коефіцієнта пористості (а) і густини (б).

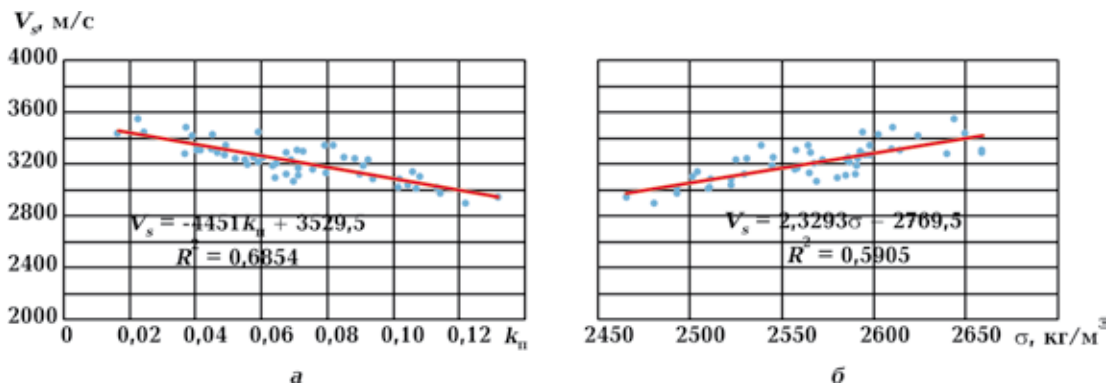


Рис. 7. Кореляційна залежність швидкості поширення поперечних хвиль у пісковиках від коефіцієнта пористості (а) і густини (б).

фізичного моделювання пластових умов встановлено, що у пісковиках у пластових умовах швидкість поздовжніх хвиль змінюється від 4228 до 5257 м/с за середнього значення 4698 м/с, у алевритистих пісковиках — від 3695 до 4321 м/с за середнього значення 4012 м/с. У вапняках швидкість поздовжніх хвиль за пластових умов не вивчали. Середнє значення швидкості по-

здовжніх хвиль у пісковиках перевищує цей показник на 17 % для пісковиків глинистих.

Установлено, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору швидкість поздовжніх хвиль у породі зростає зі збільшенням тиску. Залежність коефіцієнта збільшення швидкості поздовжніх хвиль від тиску для досліджених порід виражено поліномами 2-го порядку.

Комплексний аналіз даних лабораторних акустичних досліджень дав змогу отримати для пісковиків і алевритистих пісковиків ряд кореляційних зв'язків — між швидкістю поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах (рис. 8) та між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) й швидкістю поздовжніх хвиль ($V_{p,пл}$) у пластових умовах (рис. 9).

Магнітні властивості. За результатами лабораторних магнітометричних вимірювань (табл. б) встановлено, що об'ємна

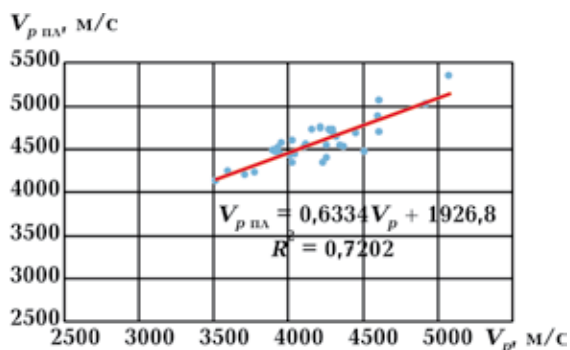


Рис. 8. Кореляційна залежність швидкості поширення поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах.

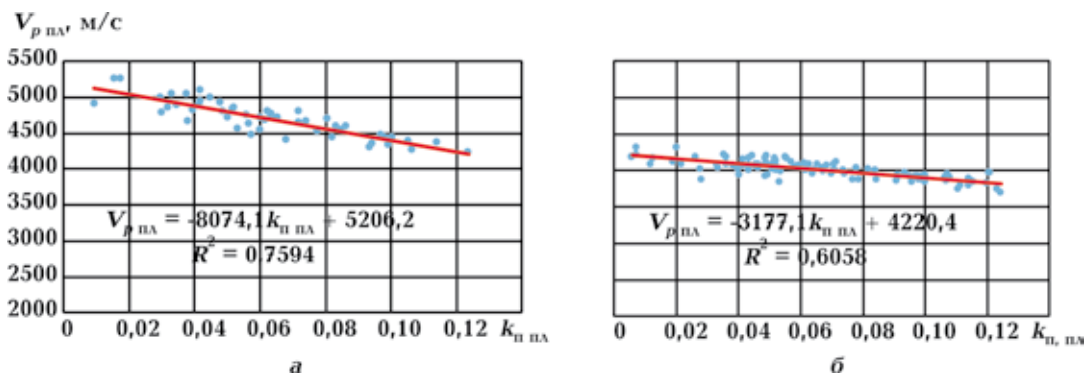


Рис. 9. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості й швидкістю поширення поздовжніх хвиль у пластових умовах: а — пісковики; б — алевритисті пісковики.

Т а б л и ц я 6. Межі змін і середні значення об'ємної магнітної сприйнятливості порід візейського ярусу

Порода	Значення параметра	Об'ємна магнітна сприйнятливість, $\times 10^{-5}$ од. СІ
Пісковик	Мінімальне	-0,05
	Максимальне	60,63
	Середнє	7,52
Алевритистий пісковик	Мінімальне	-0,34
	Максимальне	82,22
	Середнє	5,93
Вапняк	Мінімальне	-0,85
	Максимальне	2,84
	Середнє	0,13

магнітна сприйнятливості досліджених порід змінюються від $-0,85 \cdot 10^{-5}$ (вапняк) до $82,22 \cdot 10^{-5}$ од. СІ (алевритистий пісковик).

Середнє значення об'ємної магнітної сприйнятливості пісковиків перевищує аналогічний показник алевритистих пісковиків у 1,27 раза, що пояснюється вищою глинистістю останніх. Середнє значення об'ємної магнітної сприйнятливості вапняків у 58 разів менше, ніж у пісковиків, що спричинено вкрай низьким вмістом у їх складі магнітних мінералів. Зауважимо, що магнітна сприйнятливості порід визначається мінеральним складом і термодинамічними умовами, але значною мірою залежить і від геохімічної специфіки середовища. Експериментальні дослідження довели можливість трансформації залізистих мінералів із немагнітних у магнітні фази і навпаки залежно від окисно-відновних умов. Отже, значення магнітної сприйнятливості можуть контрастувати на фоні закономірних змін інших фізичних параметрів. Напевно, цим можна пояснити слабкі кореляційні залежності між магнітною сприйнятливостю, густиною та пористістю для окремих горизонтів [Orlyuk et al., 2018a,b]. Однак за середніми значеннями фізичних параметрів пісковиків та алевритистих пісковиків чітко прослідковується пряма залежність між магнітною сприйнятливостю, густиною та електричним

опором і обернена — з пористістю (див. табл. 1—3, 6).

Висновки. Аналіз результатів лабораторних досліджень зразків порід різного літологічного складу дав змогу встановити для них кореляційні залежності між густиною порід та їх коефіцієнтами пористості, які описуються лінійними функціями. Широкі межі зміни густини досліджених порід указують на мінливість літологічного складу зразків керна й пористості порід.

За значеннями коефіцієнта пористості, який змінюється у досить широких межах, досліджені породи візейського ярусу належать до III—V класів колекторів. Розподіл порід на класи колекторів такий: III клас (пористість середня) — 18,9 % зразків пісковиків і 20,4 % зразків алевритистих пісковиків; IV клас (пористість низька) — 54,7 % зразків пісковиків і 57,2 % зразків алевритистих пісковиків; V клас (пористість дуже низька) — 26,4 % зразків пісковиків, 22,4 % зразків алевритистих пісковиків та 100 % вапняків.

Установлено також кореляційну залежність між коефіцієнтами пористості, вимірними в атмосферних та пластових умовах способом насичення зразків рідиною. Цю залежність описуємо лінійною функцією. Унаслідок закриття мікротріщин порід через навантаження під час моделювання пластових умов пористість

зменшується порівняно з її значеннями в атмосферних умовах, при цьому відносне зниження коефіцієнта пористості для досліджених пісковиків варіює від 5,5 до 25 % за середнього значення 11,5 %.

У результаті лабораторних електрометричних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl), змінюється в широких межах. Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує аналогічний показник алевритистих пісковиків у 1,2 раза. Це пояснюємо вищою глинистістю алевритистих пісковиків. Середнє значення електричного опору вапняків вище, ніж пісковиків, у 12 разів, що пов'язано з переважним впливом на електричну провідність порід наявної в їхніх порах пластової води (розчину NaCl), якої у пісковиках більше внаслідок їх підвищеної пористості. При цьому спостерігаються значні варіації питомого опору зразків, зумовлені неоднорідністю їхньої текстури (наявністю глинистих і піщанистих прошарків та їх невпорядкованістю).

Вимірювання питомого опору порід за різних тисків показало, що внаслідок закриття мікротріщин й деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску, при цьому залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору від тиску для досліджених порід виражено поліномами 2-го порядку.

За комплексним аналізом лабораторних електрометричних досліджень для літологічних різновидів досліджених порід-колекторів встановлено кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості і відносним електричним опором, а також між електричними параметрами в атмосферних і пластових умовах.

Згідно з результатами лабораторних акустичних вимірювань в атмосферних умовах, сухі пісковики і алевритисті пісковики за середніми значеннями швидкісних параметрів майже не різняться, а вапняки характеризуються підвищеними значеннями швидкостей (приблизно на

30 %). Насичені породи практично не різняться за середніми значеннями швидкості поперечної хвилі.

Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості, густиною та швидкісними параметрами для пісковиків й алевритистих пісковиків сухих екстрагованих і насичених моделлю пластової води в атмосферних умовах. Їх описано лінійними функціями.

Шляхом фізичного моделювання пластових умов встановлено, що середнє значення швидкості поздовжніх хвиль у пісковиках перевищує на 17 % цей показник для пісковиків глинистих. Унаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору швидкість поздовжніх хвиль у породі зростає зі збільшенням тиску. Залежність коефіцієнта збільшення швидкості поздовжніх хвиль від тиску для досліджених порід виражено поліномами 2-го порядку.

Комплексний аналіз даних лабораторних акустичних досліджень дав змогу отримати для пісковиків і пісковиків алевритистих ряд кореляційних зв'язків: між швидкістю поширення поздовжніх хвиль в атмосферних і пластових умовах та між коефіцієнтом пористості й швидкістю поширення поздовжніх хвиль у пластових умовах.

Об'ємна магнітна сприйнятливості досліджених порід змінюється у досить широких межах. Середнє її значення для пісковиків перевищує аналогічний показник для алевритистих пісковиків у 1,27 раза, що пояснюється вищою глинистістю алевритистих пісковиків; цей параметр для вапняків у 58 разів менший, ніж для пісковиків, що пов'язано з низьким вмістом у них магнітних мінералів. За середніми значеннями фізичних параметрів пісковиків та алевритистих пісковиків прослідковано пряму залежність між магнітною сприйнятливостю, густиною та електричним опором і обернену — з пористістю.

Результати досліджень можуть бути використані для визначення перспективності порід різного складу, моделювання їх властивостей для різних глибин заля-

гання та кількісного визначення структури їх пустотного простору. За отриманими залежностями між різними параметрами

можна уточнювати інтерпретацію даних геофізичних досліджень свердловин певної площі.

Список літератури

- Вижва С. А., Безродна І. М. Визначення структури пустотного простору складнопобудованих порід за даними петроакустичних досліджень Семиренківської площі. *Вісник КНУ. Геологія*. 2016. № 3(74). С. 11—17.
- Вижва С. А., Михайлов В. А., Онищук І. І. Петрофизические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. *Вісник КНУ. Геологія*. 2017а. № 4(79). С. 12—20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02>.
- Вижва С. А., Михайлов В. А., Онищук Д. І., Онищук І. І. Електричні параметри порід-колекторів імпактних структур. *Вісник КНУ. Геологія*. 2014а. № 2(65). С. 31—35.
- Вижва С. А., Михайлов В. А., Онищук Д. І., Онищук І. І. Петрофізичні параметри нетрадиційних порід-колекторів Південного нафтогазового регіону. *Геоінформатика*. 2013. № 3(47). С. 1—9.
- Вижва С. А., Михайлов В. А., Онищук Д. І., Онищук І. І. Петрофізичні параметри порід, перспективних на сланцевий газ (ділянки східного сектору Дніпровсько-Донецької западини). *Геофиз. журн.* 2014б. Т. 36. № 1. С. 145—157. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116163>.
- Вижва С. А., Онищук І. І. та ін. Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. Науково-технічний звіт. Корпорація «Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка». 2017б. 712 с.
- Вижва С. А., Онищук Д. І., Онищук В. І. Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища. *Вісник КНУ. Геологія*. 2012. Вип. 57. С. 13—16.
- Вижва С. А., Онищук В. І., Онищук І. І., Рева М. В., Шабатура О. В. Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ). *Вісник КНУ. Геологія*. 2018. № 4(83). С. 30—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.83.04>.
- Вижва С. А., Рева М. В., Гожик А. П., Онищук В. І., Онищук І. І. Петроелектричні дослідження керна складнопобудованих порід-колекторів. *Вісник КНУ. Геологія*. 2010. Вип. 50. С. 4—7.
- Вижва С., Шинкаренко А., Безродна І., Щуров І., Гафич І., Солодкий Є. Вплив змінного тиску на акустичні та ємнісні властивості теригенних порід-колекторів (на прикладі Семиренківської площі). *Вісник КНУ. Геологія*. 2017в. № 1(76). С. 19—26. doi: 10.17721/1728-2713.76.03.
- Дахнов В. Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтенасыщения пород. Москва: Недра, 1975. 343 с.
- Дортман Н. Б. Петрофизика. Справочник. Ч. 1. Москва: Недра, 1992. 391 с.
- Инструкция по определению емкостных свойств пород в производственных лабораториях министерства геологии УССР. Львов: Изд. УкрНИГРИ, 1977. 40 с.
- Карпенко О. М., Михайлов В. А., Карпенко І. О. До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник КНУ. Геологія*. 2015. № 1(68). С. 49—54.
- Маслов Б. П., Онищук І. І., Шинкаренко А. В. Моделювання нелінійних в'язко-пружних властивостей теригенно-вапняковистих пісковиків. *Вісник КНУ. Геологія*. 2017. № 2(77). С. 99—105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13>.
- Михайлов В. А., Вижва С. А., Загнітко В. М., Огар В. В., Карпенко О. М., Онищук І. І., Куровець С. С., Гладун М. В., Андреева О. О., Максимчук П. Я. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Кн. IV. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2014а. 430 с.
- Михайлов В. А., Куровець І. М., Сеньковський Ю. М., Вижва С. А., Григорчук К. Г., Загнітко В. М., Гнідець В. П., Карпенко О. М., Куровець С. С. Нетрадиційні джерела вуг-

- леводнів України. Південний нафтогазоносний регіон. Книга III. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2014б. 222 с.
- Нестеренко М. Ю. Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів. Київ: Вид. УкрДГРІ, 2010. 224 с.
- Орлюк М. И., Пашкевич И. К. Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 6. С. 136—151. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799>.
- Орлюк М. І., Друкаренко В. В. Прогноз шляхів проходження та місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегменту Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 2. С. 123—140. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893>.
- Садівник М. І., Федоришин Д. Д., Трубенко С. Д., Федоришин С. Д. Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід; *Зб. наук. праць XII Міжнар. конф. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти»*, Київ, 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.geoinformatics.org.ua.
- Тиаб Д., Доналдсон Э. Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. Москва: Премиум Инжиниринг, 2009. 868 с.
- Федоришин Д. Д., Пятковська І. О., Трубенко О. М., Федоришин С. Д., Трубенко А. О. Удосконалення методик виділення порід-колекторів складнобудованих геологічних розрізів з використанням математичної статистики: *Зб. наук. праць XII Міжнар. конф. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти»*, Київ, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.geoinformatics.org.ua.
- Orlyuk, M. I., Drukarenko, V. V., Onyshchuk, I. I., Solodkyi, I. V. 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*. 2018а. № 2(25). С. 71—88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>.
- Orlyuk, M., Drukarenko, V., Onyshchuk, I. Physical properties of deep reservoirs of the Glinsko-Solokhivsky oil and gas region: Електронна збірка наукових праць XII Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища» 13—16 листопада 2018 р., Київ, Україна, 2018b. doi: 10.3997/2214-4609.201803178.
- Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk, D. I. Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz*. 2017. № 2. P. 90—96. doi: 10.18668/NG.2017.02.03.

Petrophysical parameters of rocks of the Visean stage (Lokhvytsky zone of the Dnieper-Donets Depression)

**S. Vyzhva, V. Onyshchuk, I. Onyshchuk, M. Orlyuk, V. Drukarenko,
M. Reva, O. Shabatura, 2019**

The results of complex investigations of petrophysical properties of the Visean rocks from wells in Lokhvytsky zone of the DDD (sandstones and siltstones from depths 5060—5600 m and limestones from depths 5960—6200 m) are presented. The open porosity coefficient, specific and relative electrical resistivity, velocity of P-waves and S-waves, three-dimensional magnetic susceptibility of rocks are determined. The studies of electric and acoustic properties were carried out in atmospheric and simulated stratal conditions on dry and water saturated stratal model rocks. Relative decrease of the porosity coefficient with changing from atmospheric conditions to reservoir conditions is from 5,5 to 25 % (mean 11,5 %). The average value of specific electrical resistivity of sandstones is 1.2 times more than of siltstones, and 12 times more than of limestones. It has been found that

due to the closure of micro-cracks and the deformation of the pore space, the electrical resistance of rocks tends to increase with pressure. There is no significant distinction in velocity parameters between dry sandstones and siltstones, however, limestones are characterized by higher velocity (approximately 30 %) of transversal waves. Saturated rocks have approximately the same average values of *S*-wave velocity. The average value of velocity of *S*-waves in sandstones is 17 % higher than in siltstones. It was established that three-dimensional magnetic susceptibility varies in wide limits. Sandstones are characterized by the highest value, this parameter for limestones is 58 times lower than for sandstones. By the mean values of the physical parameters of sandstones and siltstones, there is clearly a direct relationship between the magnetic susceptibility, density and electrical resistivity, and the reverse one with porosity. The results obtained can be used to determine the perspective of rocks of different composition, to modeling their properties for different depths and to quantify the structure of their pore spaces. Received dependencies between the various parameters permit to clarify the interpretation of wells geophysical researching data of the studied area.

Key words: porosity, specific electrical resistivity, relative electric resistance, velocities of elastic waves, correlation ratio, sandstone, limestone.

References

- Vyzhva, S., Bezrodna, I. (2016). Determination of the void space structure of complex rocks using the petroacoustic studies data from the semyrenkivska area. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (3), 11—17 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, I. (2017a). Petrophysical features of maikop series of the Crimean-Black sea region. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (4) 79, 12—20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02> (in Russian).
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., & Onyshchuk, I. (2014a). Reservoir Rocks in Impact Structures: Electrical Parameters. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (2), 31—35 (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. *Geoinformatika*, (3), 17—25 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S. A., Mykhailov, V. A., & Onyshchuk, I. I. (2014b). 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. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116163> (in Ukrainian).
- Vyzhva, S., Onyshchuk, I., & colleagues. (2017b). *Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells*. Scientific and technical report. Science Park Kyiv Taras Shevchenko University, 712 p. (in Ukrainian).
- Vyzhva, S., Onyshchuk, D., & Onyshchuk, V. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (57) 13—16 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Reva, M., & Shabaturova, O. (2018). Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk KNU. Heolohiya*, (4), 30—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.83.04> (in Ukrainian).
- Vyzhva, S. A., Reva, M. V., Hozhyk, A. P., Onyshchuk, V. I., & Onyshchuk, I. I. (2010). Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-build reservoir rocks. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (50), 4—7 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S., Shynkarenko, A., Bezrodna, I., Shchurov, I., Gafyth, I., & Solodkyi, I. (2017c). Influence of variable pressure on acoustic and volumetric properties of terrigenous reservoir rocks (on the example of Semyrenkivska area samples). *Visnyk KNU. Heolohiya*, (1) 76, 33—41. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.76.03> (in Ukrainian).
- Dakhnov, V. N. (1975). *Geophysical methods for the determination of reservoir properties and oil and gas saturation of rocks*. Moscow: Nedra, 343 p. (in Russian).

- Dortman, N. B. (Ed.). (1992). *Petrophysics*. Handbook (Vol. 1). Moscow: Nedra (in Russian).
- The instruction for determining the storage capacity of rocks in production laboratories of the Ministry of Geology of the Ukrainian SSR. (1977). Lviv: Ukrainian Research Mining Institute, 40 p. (in Russian).
- Karpenko, O., Mykhailov, V., & Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (1), 49—54 (in Ukrainian).
- Maslov, B., Onyshchuk, I., & Shynkarenko, A. (2017). Modelling of nonlinear viscoelastic properties of terrigenous-calcareous sandstones. *Visnyk KNU. Heolohiya*, (2), 99—105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13> (in Ukrainian).
- Mykhaylov, V. A., Vyzhva, S. A., Zahnitko, V. M., Ohar, V. V., Karpenko, O. M., Onishchuk, I. I., Kurovets, S. S., Hladun, M. V., Andreyeva, O. O., & Maksymchuk, P. Ya. (2014a). *Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Eastern oil-gas-bearing region: Analytical investigations*. Book IV. Kyiv: Kyiv University Publishing, 430 p. (in Ukrainian).
- Mykhaylov, V. A., Kurovets, I. M., Senkovskyy, Yu. M., Vyzhva, S. A., Hryhorchuk, K. H., Zahnitko, V. M., Hnidets, V. P., Karpenko, O. M., & Kurovets, S. S. (2014b). *Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine: South oil and gas region*. Book III. Kyiv: Kyiv University Publishing, 222 p. (in Ukrainian).
- Nesterenko, M. Yu. (2010). *Petrophysical basis of the substantiating of fluid saturation of reservoir rocks*. Kyiv: UkrDHRI, 224 p. (in Ukrainian).
- Orlyuk, M., & Pashkevich, I. (2011). Magnetic characteristics and fault tectonics of the earth's crust of the Shebelinka group of gas fields as a component of the complex search criteria for hydrocarbons. *Geofizicheskiy zhurnal*, 33(6), 136—151. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799> (in Russian).
- Orlyuk, M. I., & Drukarenko, V. V. (2018). Prediction of pathways and places of accumulation for hydrocarbons of the Chernigiv segment of the Dnieper-Donets aulacogene in relation to magnetic heterogeneity. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40 (2), 123—140. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893> (in Ukrainian).
- Sadivnyk, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., & Fedoryshyn, S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks: *Collection of scientific works of the 12th International Conference on Geoinformatics «Theoretical and Applied Aspects»*, Kiev (in Ukrainian).
- Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2009). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport*. Moscow: Premium Engineering, 868 p. (in Russian).
- Fedoryshyn, D. D., Piatkovska, I. O., Trubenko, O. N., & Fedoryshyn, S. D. (2018). Improved methods of allocation reservoir rock from complex constructed geological sections by using mathematical statistics: *Collection of scientific works of the 17th International Conference on Geoinformatics «Theoretical and Applied Aspects»*, Kyiv (in Ukrainian).
- Orlyuk, M. I., Drukarenko, V. V., Onyshchuk, I. I., Solodkyi, I. V. (2018a). The association of physical properties of deep reservoirs with geomagnetic field and fault-block tectonics in the Glyns'ko-Solokhivs'kiy oil-and-gas region. *Heodynamika*, (2), 71—88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>.
- Orlyuk, M., Drukarenko, V., & Onyshchuk, I. (2018b). Physical properties of deep reservoirs of the Glinsko-Solokhivsky oil and gas region. *Electronic collection of scientific works of the XII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*, 13—16 November 2018, Kyiv, Ukraine. doi: 10.3997/2214-4609.201803178.
- Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., & Onyshchuk, D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz*, (2) 90—96. doi: 10.18668/NG.2017.02.03.