

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vsa@univ.net.ua;
В. Онищук, канд. геол. наук
E-mail: vitus16@ukr.net;
І. Онищук, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: oivan1@ukr.net;
М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.
E-mail: mvreva@gmail.com;
О. Шабатура, канд. геол. наук
E-mail: dard@ukr.net

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

ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОРІД ВЕРХНЬОГО КАРБОНУ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О. М. Карпенком)

Присвячено вивченню електричних параметрів пісковиків і аргілітів верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини.

Установлено, що значення питомого електричного опору сухих екстрагованих зразків порід (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм-м до 6,115 МОм-м (середнє – 751,328 кОм-м). Електричний опір пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з меншою глинистістю пісковиків.

Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової води, змінюється від 0,54 Ом-м до 10,46 Ом-м (середнє – 1,23 Ом-м), при цьому опір насичених аргілітів у 2,46 рази вищий, ніж опір насичених пісковиків. Це пов'язано з переважним впливом на електричний опір порід вмісту в них пластової води, якої в пісковиках у зв'язку з їхньою високою пористістю більше.

Лабораторними дослідженнями встановлено, що в атмосферних умовах відносний електричний опір пісковиків змінюється від 6,05 до 33,71 (середнє – 11,8), а аргілітів – від 4,76 до 51,47 (середнє – 17,4).

Виконане фізичне моделювання пластових умов (температура $t = 78,5$ °С; тиск $p = 31-31,9$ МПа; мінералізація $M = 170$ г/л) показало, що питомий електричний опір порід загалом змінюється від 0,3 Ом-м до 3,0 Ом-м (середнє – 0,75 Ом-м), при цьому для пісковиків він варіює в межах від 0,3 Ом-м до 2,3 Ом-м (середнє – 0,7 Ом-м), а аргілітів – від 0,5 Ом-м до 3,0 Ом-м (середнє – 1,2 Ом-м). У пластових умовах електричний опір аргілітів перевищує опір пісковиків у 1,6 рази. Досліджено залежність питомого опору порід від тиску. Унаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску. Регресійний зв'язок коефіцієнта збільшення питомого електричного опору з тиском для досліджених порід виражається поліномами 2-го порядку.

Проведеними дослідженнями визначено відносний електричний опір і пористість порід у пластових умовах. Установлено, що в пластових умовах відносний електричний опір пісковиків змінюється від 5,4 до 63,3 (середнє – 20,3), а відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 (середнє – 0,113). Відносний електричний опір аргілітів у пластових умовах варіює в межах від 13,4 до 88,7 (середнє – 34,3), а відповідного коефіцієнта пористості – від 0,043 до 0,115 (середнє – 0,086).

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень літологічних різновидів порід дозволив установити кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості і відносним електричним опором, а також між електричними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах і між параметром збільшення електричного опору й коефіцієнтом водонасичення.

Ключові слова: питомий електричний опір, відносний електричний опір, параметр збільшення електричного опору, кореляційні залежності, пісковики, аргіліти.

Постановка проблеми. У межах Дніпровсько-Донецької западини широко розповсюджені відклади верхнього карбону (С₃), де вони мають важливе газонафтопродуктивне значення. Породи верхнього карбону Руновщинської площі представлені пісковиками світло-сірими, середньо- й крупнозернистими, олігоміктовими, із глинистим цементом, однорідної нешаруватої текстури із прошарками аргілітів. Пісковики мають середній ступінь цементації та пористості, практично нетріщинуваті. Вони розглядаються як колектори традиційних родовищ нафти і газу, часто пов'язаних з породами верхнього карбону. Останнім часом вивчається питання про можливу наявність нетрадиційних покладів вуглеводнів у глинистих породах (аргілітах, алевролітах) верхнього карбону. Характеристика петрофізичних властивостей порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ як традиційних, так і нетрадиційних колекторів, що обумовлює актуальність їхнього вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України присвячені ряд публікацій (Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Карпенко та ін., 2014; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014; Нес-теренко, 2010; Садівник, 2013; Федоришин, 2018 та ін.).

При цьому електричні параметри порід мають важливе значення для оцінки колекторських властивостей порід за даними свердловинних електрометричних досліджень. Слід відзначити, що петрофізичні властивості порід і кореляційні залежності між ними мають досить виражений індивідуальний характер щодо кожної ділянки досліджень. Тому результати дослідження цих властивостей і встановлення відповідних кореляційних зв'язків у межах кожної перспективної площі потребують окремого публічного висвітлення.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема пошуків і вивчення традиційних і нетрадиційних (сланцевий газ, сланцева нафта, газ ущільнених колекторів та ін.) джерел вуглеводнів на сучасному етапі набуває все більшої актуальності. Для оцінки перспективності на вуглеводні геологічних структур і комплексів, крім економічних і геолого-геометричних параметрів, вмісту органічної речовини і ступеня її термічної переробки, важливе значення мають також петрофізичні властивості гірських порід. Вони використовуються для інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень пошуково-розвідувальних свердловин. Слід зазначити, що петрофізичні дослідження до недавнього часу були спрямовані переважно на вивчення порід-

колекторів традиційних джерел нафти і газу. Водночас петрофізичні (зокрема електричні) параметри порід-колекторів нетрадиційних джерел вуглеводнів на сьогодні є мало вивченими або зовсім невивченими. Незважаючи на велику кількість публікацій, для деяких порід-колекторів практично відсутні дані результатів їхніх лабораторних електрометричних досліджень та їхні кореляційні залежності з фільтраційно-ємнісними параметрами.

Мета досліджень. Оцінка електричних параметрів порід традиційних і нетрадиційних джерел вуглеводнів як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей (*Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Михайлов та ін., 2014; Нестеренко, 2010; Садівник, 2013; Федоришин, 2018 та ін.*). Установлення перспективності відкладів на вуглеводні виконується шляхом визначення електричних та ємнісно-фільтраційних властивостей окремих типів і груп порід і встановлення кореляційних зв'язків між ними. Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень зміни питомого електричного опору порід, використовуються для інтерпретації результатів електрометричних методів досліджень свердловин і польової електророзвідки.

Експериментальні дослідження. Виконаний комплекс петрофізичних досліджень у НДП "Теоретичної і прикладної геофізики" ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка включав визначення: густини порід (сухих і насичених розчином NaCl); відкритої пористості (методами насичення азотом і розчином NaCl); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); питомого електричного опору (сухих зразків і насичених розчином NaCl); швидкості пружних хвиль (сухих зразків і насичених розчином NaCl), питомої альфа- та бета-активності. Проведено також петрографічний макро- та мікроопис досліджених порід.

У даній статті наведено результати комплексних досліджень електричних властивостей колекції із 135 зразків порід верхнього карбону свердловини 110 Руновщинської площі ДДЗ (інтервали: 3145–3164,5 м, 3217–3229,7 м, 3260–3284 м та 3313–3315 м).

Літологічна характеристика порід. Досліджувані породи верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими, середньо- та крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією. Пісковики мають однорідну нешарувату текстуру із прошарками аргілітів і пісковиків, що містять гравійний матеріал. Для них характерні середній ступінь цементації й пористості. У середній частині інтервалу досліджень пісковики мають смугасто-шарувату текстуру за рахунок збагачення слюдистими та глинистими мінералами. В інтервалі глибин 3158–3164 м у розрізі присутні міцно зцементовані темно-коричневі та коричнево-сірі аргіліти, безкарбонатні, слабкослюдисті, непористі, несланцюваті або слабкосланцюваті. Інтервал глибин 3217–3229,7 м представлений пісковиками світло-сірими, середньозернистими до крупнозернистих, пористими, місцями гідрофобними із запахом вуглеводнів, переважно олігоміковими з точковою вуглефікацією, із глинистим безкарбонатним, місцями слабкокарбонатним цементом. Породи середнього ступеня цементації, текстури нешаруваті, однорідні та лінозоподібно-смугасто-шаруваті, зумовлені присутністю лінозів і прошарків, збагачених глинистим і слюдистим матеріалом, іноді органічною речовиною. У нижній частині інтервалу (із глибини близько 3227 м) породи представлені горизонтально аргілітів сірих і строкатоколірних мікрослюдистих, міцно зцементованих, непористих, нешаруватих, несланцюватих (*Вижва та ін., 2017*).

В інтервалі глибин 3262,5–3263,5 м присутні пісковики світло-сірі зі слабким зеленуватим і жовтуватим

відтінком, крупно- й середньозернисті із прошарками гравелітів і дрібногалькових конгломератів, переважно олігомікові, пористі, часто гідрофобні із запахом вуглеводнів, з однорідною нешаруватою текстурою, пластами з лінозоподібно-смугасто-шаруватою текстурою за рахунок збагачення окремих прошарків слюдисто-глинистим матеріалом і тонкими короткими прожилками бітумоїдів. У нижній частині інтервалу 3260–3284 м наявні сірі аргіліти. В інтервалі глибин 3314–3315 м присутні пісковики середньозернисті, світло-сірі з легким жовтуватим відтінком, нешаруватої та смугастої текстури, середнього ступеня цементації, безкарбонатні, пористі (*Вижва та ін., 2017*).

Методика електрометричних досліджень. Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керна виконано за температури 20 °С цифровим тераометром С.А 6547, який 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., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017*). Для вимірювання зразків, насичених моделлю пластової води (розчин NaCl, мінералізація 170 г/л), застосовувався RCL-метр МНС-1100. Циліндричні зразки під час вимірювання розташовувались у спеціальному кернотримачі з електродами, що не поляризуються.

З метою визначення залежності петрофізичних параметрів від водонасичення порід, а отже, й їхнього газонафтонасичення, досліджено зміни питомого електричного опору за різного ступеня відгонки води на центрифугі ОС-6М. У процесі центрифугування виконувалася серія вимірювань електричного опору зразків, насичених моделлю пластової води – до центрифугування та після центрифугування за режимів відгонки від 1000 до 6000 об/хв із кроком 1000 об/хв і відповідною зміною тиску витіснення води від 0,2 до 1,0 МПа (7 циклів вимірювань). Паралельно визначалися коефіцієнт водонасичення та швидкість пружних хвиль.

Для встановлення кореляційного зв'язку між електричними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано комплекс петрофізичних досліджень з фізичним моделюванням пластових умов (температура $t = 78,5$ °С; тиск $p = 31$ – $31,9$ МПа; мінералізація $M = 170$ г/л).

Середня відносна похибка визначення електричного опору порід у межах виконаних досліджень становила 2,3 %.

Аналіз даних лабораторних досліджень. У результаті виконаних лабораторних електрометричних досліджень визначено електричні параметри основних типів порід-колекторів верхнього карбону Руновщинської площі. Відомості про межі змін і середні значення пористості порід, залежно від їхнього віку, літології та приуроченості до виділених перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н, наведено в табл. 1.

За результатами лабораторних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір сухих екстрагованих зразків (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м за середнього значення 751,328 кОм·м. Сухі пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 139,242 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє значення 854,659 кОм·м), а сухі аргіліти – від 44,802 кОм·м до 1,749 МОм·м (середнє значення 247,794 кОм·м). Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з більш високою глинистістю аргілітів. При цьому спостерігаються значні варіації питомого опору зразків, зумовлені неоднорідністю в їхній текстурі (наявністю глинистих і піщаних прошарків та їхньою неупорядкованістю).

Таблиця 1

Межі змін і середні значення електричних параметрів порід верхнього карбону Руновщинської площі

Вибірки	Значення параметра	Атмосферні умови			Пластові умови	
		питомий електричний опір сухих порід, Ом·м	питомий електричний опір порід, насичених розчином NaCl, Ом·м	відносний електричний опір, P	питомий електричний опір порід, насичених розчином NaCl, Ом·м	відносний електричний опір, P _{пл}
1 верхній карбон С ₃	мін.	47225	0,54	4,76	0,3	5,4
	макс.	6115323	10,46	51,47	3,0	88,7
	сер.	816798	1,1	12,6	0,75	20,9
2 аргіліт	мін.	44802	0,79	4,76	0,5	13,4
	макс.	1748655	10,46	51,47	3,0	88,7
	сер.	247794	2,58	17,4	1,2	34,3
3 пісковик	мін.	139242	0,54	6,05	0,3	5,4
	макс.	6115323	2,99	33,71	2,3	63,3
	сер.	854659	1,05	11,8	0,7	20,3
4 перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-6, (гл. 3137,9–3160,0 м)	мін.	139242	0,71	8,0	0,38	10,8
	макс.	851574	2,99	33,7	2,28	63,3
	сер.	312048	1,37	15,5	1,05	28,9
5 перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7в, (гл. 3209,1–3232,5 м)	мін.	241153	0,54	6,1	0,31	5,4
	макс.	2895045	2,59	29,2	2,09	58,8
	сер.	944082	1,03	11,6	0,69	19,0
6 перспективний нафтоносний інтервал, горизонт, Г-7н, (гл. 3252,2–3270,9 м)	мін.	187141	0,59	6,7	0,32	7,1
	макс.	6115323	2,32	26,2	2,07	57,6
	сер.	1377050	1,01	11,4	0,68	18,7

Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl), змінюється від 0,54 Ом·м до 10,46 Ом·м за середнього значення 1,23 Ом·м. Насичені пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,54 Ом·м до 2,99 Ом·м, за середнього значення – 1,05 Ом·м, а насичені аргіліти – від 0,79 Ом·м до 10,46 Ом·м за середнього значення 2,58 Ом·м. Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує аналогічний показник пісковиків у 2,46 рази. Це пояснюється переважним впливом на електричну провідність порід присутньої в їхніх порах пластової води (розчину NaCl), якої у пісковиках більше у зв'язку з їхньою підвищеною пористістю.

У результаті лабораторних електрометричних досліджень визначено також відносний електричний опір порід – відношення питомого опору повністю насиченої породи до питомого опору насичувального розчину (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009). Аналіз отриманих даних дозволив установити, що відносний електричний опір пісковиків змінюється від 6,05 до 33,71 за середнього значення 11,8. Відповідний цьому діапазон зміни

коефіцієнта пористості – від 0,058 до 0,19 за середнього значення 0,129. Відносний електричний опір аргілітів змінюється у межах від 4,76 до 51,47 (середнє значення 17,4), а коефіцієнт пористості – від 0,052 до 0,127 (середнє значення 0,1).

За матеріалами виконаних лабораторних досліджень побудовано кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_n) і відносним електричним опором (P) виду $P = a \cdot k_n^{-m}$, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник (рівняння Арчі – Дахнова, (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009)) для пісковиків (рис. 1) та аргілітів (рис. 2). Відносний електричний опір являє собою відношення питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{пв}$) до питомого опору пластової води ($\rho_{в}$): $P = \rho_{пв} / \rho_{в}$.

Для пісковиків Руновщинської площі коефіцієнт $a = 0,6023$, а структурний показник $m = 1,39$. Аргіліти, порівняно з пісковиками, за значеннями цих параметрів помітно відрізняються: коефіцієнт $a = 0,2224$, а структурний показник $m = 1,81$.

Визначено та побудовано також кореляційні залежності Арчі – Дахнова для виділених перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н (рис. 3–5).

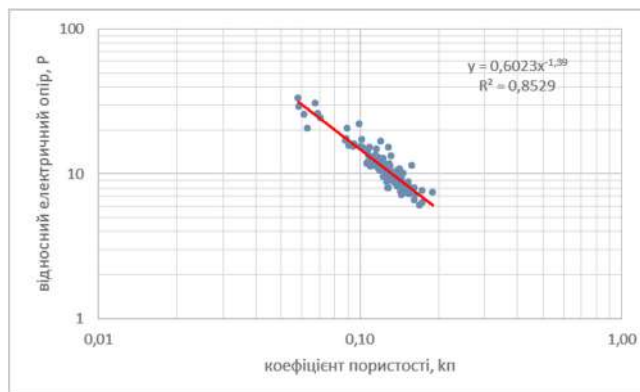


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) пісковиків: $P = 0,6023 \cdot k_n^{-1,39}$, $R^2 = 0,853$

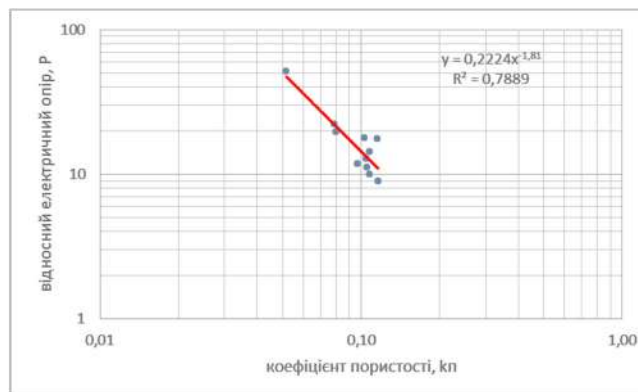


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором аргілітів (P): $P = 0,2224 \cdot k_n^{-1,81}$, $R^2 = 0,789$

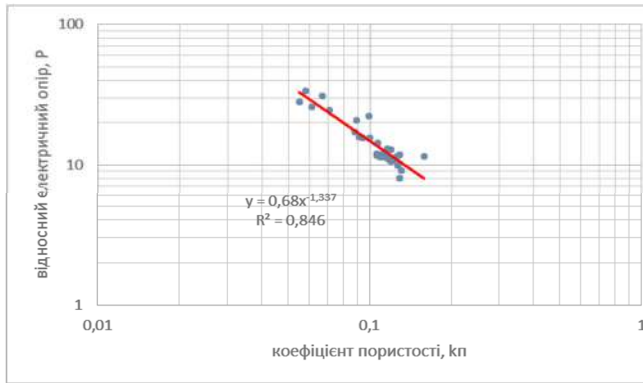


Рис. 3. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) порід горизонту Г-6: $P = 0,68 \cdot k_n^{-1,337}$, $R^2 = 0,846$

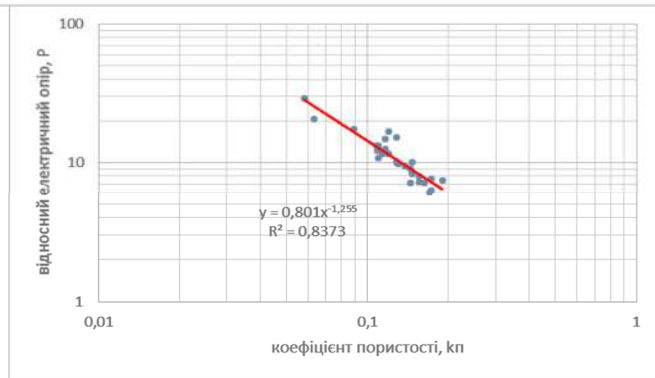


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) порід горизонту Г-7в: $P = 0,801 \cdot k_n^{-1,255}$, $R^2 = 0,837$

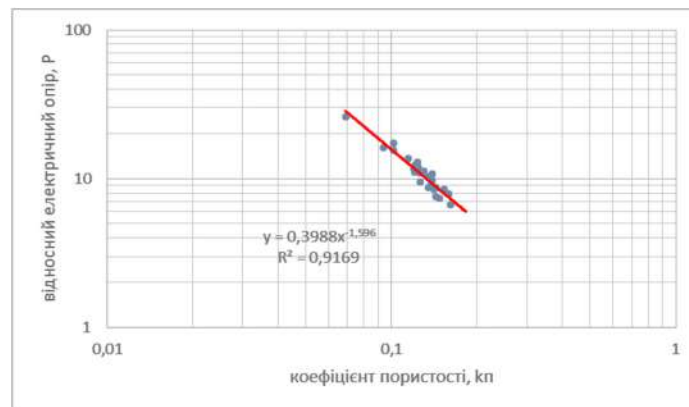


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) для порід горизонту Г-7н: $P = 0,3988 \cdot k_n^{-1,596}$, $R^2 = 0,917$

Аналіз наведених даних свідчить, що для пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів свердловини 110 коефіцієнт a в рівнянні Арчі – Дахнова змінюється від 0,3988 (горизонт Г-7н) до 0,801 (горизонт Г-7в), а структурний показник m , відповідно, від 1,596 до 1,255.

З метою оцінки питомого та відносного електричного опору порід у пластових умовах виконано комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000 при зміні тиску від атмосферного до 35 МПа. Вимірювання виконувались на зразках, насичених розчином NaCl. Межі змін і середні значення питомого й відносного електричного опору порід у пластових умовах, залежно від їхніх літологічних різновидів і віку, наведено в табл. 1. За результатами лабораторних електрометричних вимірювань під час фізичного моделювання пластових умов установлено, що питомий електричний опір порід змінюється від 0,3 до 3,0 Ом·м за середнього значення 0,75 Ом·м. При цьому питомий електричний опір пісковиків має діапазон зміни від 0,3 до 2,3 Ом·м за середнього значення 0,7 Ом·м, а аргілітів – від 0,5 до 3,0 Ом·м за середнього значення 1,2 Ом·м. Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує в 1,6 рази цей показник для пісковиків.

У результаті аналізу отриманих даних установлено, що внаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску. Залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p) для досліджених порід виражається поліномами 2-го порядку: $Q = n \cdot p^2 + m \cdot p + c$, де n , m і c – коефіцієнти рівняння.

За допомогою виконаних досліджень визначено відносний електричний опір порід у пластових умовах. Аналіз

отриманих даних дозволив установити, що відносний електричний опір пісковиків у пластових умовах змінюється в діапазоні від 5,4 до 63,3 при середньому значенні 20,3, а відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 при середньому значенні 0,113. Для аргілітів діапазон зміни відносного електричного опору в пластових умовах становить від 13,4 до 88,7 при середньому значенні 34,3, а коефіцієнта пористості – від 0,043 до 0,115 при середньому значенні 0,086.

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень дозволив отримати для пісків і аргілітів низку кореляційних зв'язків – між питомим електричним опором в атмосферних і пластових умовах (рис. 6, 7), між відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах (рис. 8, 9) та між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) у пластових умовах (рис. 10, 11).

У пластових умовах для досліджених пісковиків і аргілітів отримано рівняння Арчі – Дахнова, які мають такий вигляд:

- для пісковиків $-P = 0,3418 \cdot k_n^{-1,802}$;
- для аргілітів $-P = 0,4719 \cdot k_n^{-1,665}$.

У результаті досліджень, виконаних у змодельованих пластових умовах, установлено також кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н (рис. 12–14).

Аналіз наведених даних свідчить, що у пластових умовах для пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів коефіцієнт a рівняння Арчі – Дахнова змінюється від 0,1842 (горизонт Г-7в) до 0,5597 (горизонт Г-6), а структурний показник m , відповідно, від 2,093 до 1,602.

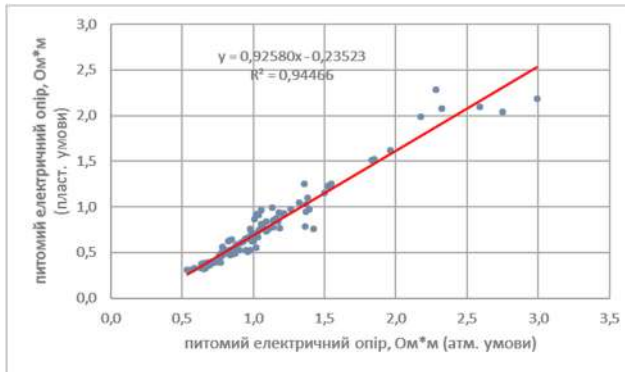


Рис. 6. Кореляційна залежність між питомим електричним опором пісковиків в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах: $\rho_{пл} = 0,9258\rho - 0,23523$, $R^2 = 0,945$

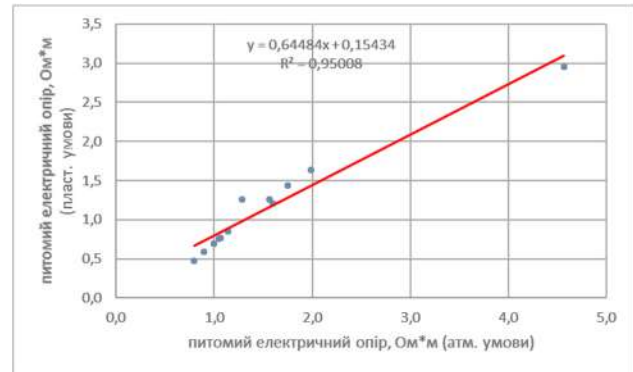


Рис. 7. Кореляційна залежність між питомим електричним опором аргілітів в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах: $\rho_{пл} = 0,64484\rho + 0,15434$, $R^2 = 0,95$

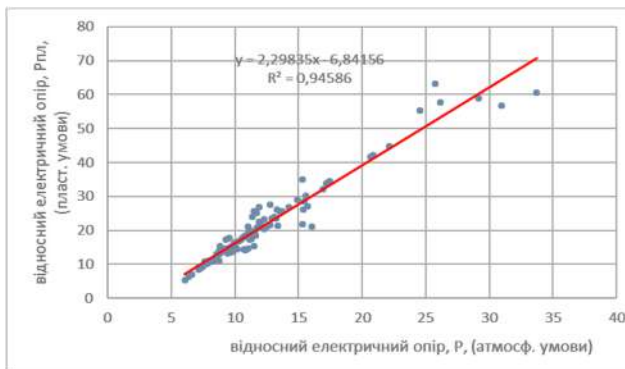


Рис. 8. Кореляційна залежність між відносним електричним опором пісковиків в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах: $P_{пл} = 2,29835P - 6,84156$, $R^2 = 0,946$

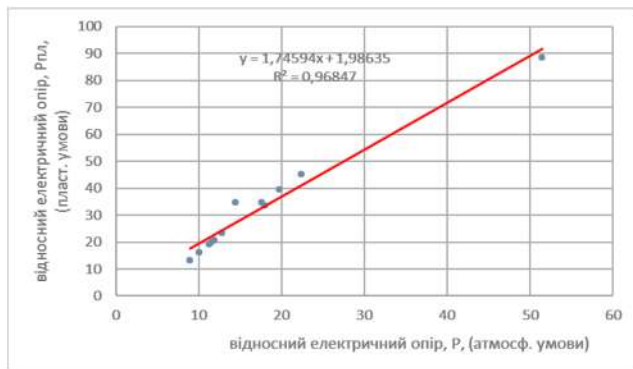


Рис. 9. Кореляційна залежність між відносним електричним опором аргілітів в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах: $P_{пл} = 1,74594P + 1,98635$, $R^2 = 0,968$

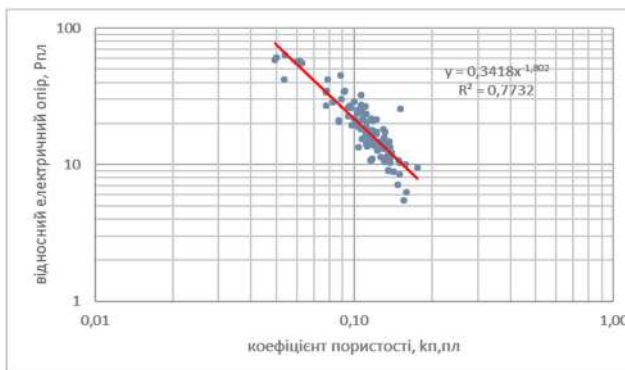


Рис. 10. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків (пластові умови): $P_{пл} = 0,3418 \cdot k_{п,пл}^{-1,802}$, $R^2 = 0,773$

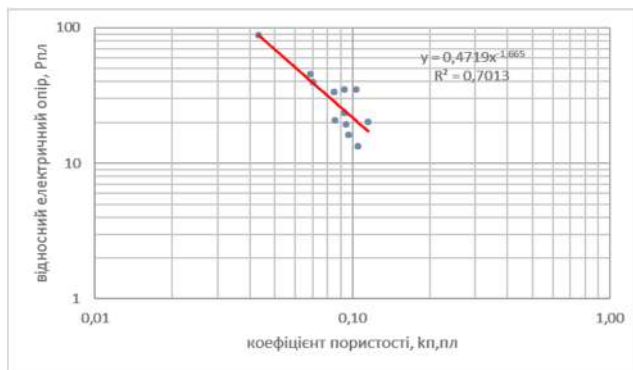


Рис. 11. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) аргілітів (пластові умови): $P_{пл} = 0,4719 \cdot k_{п,пл}^{-1,665}$, $R^2 = 0,701$

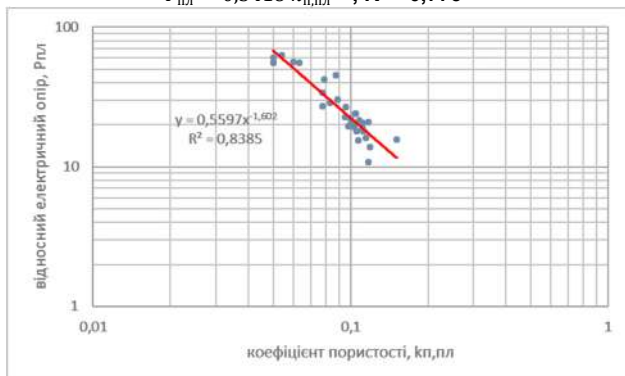


Рис. 12. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) і відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-6 (пластові умови): $P_{пл} = 0,5597 \cdot k_{п,пл}^{-1,602}$, $R^2 = 0,839$

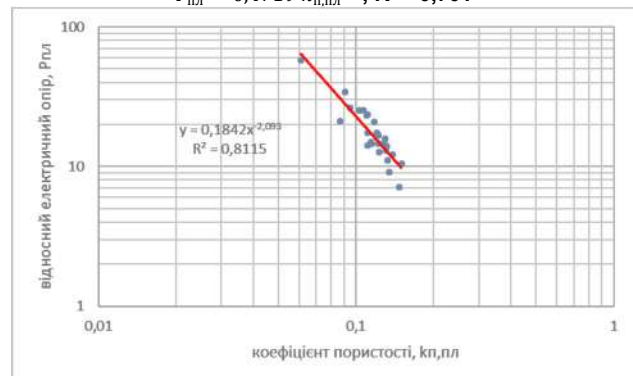


Рис. 13. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) та відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-7в (пластові умови): $P_{пл} = 0,1842 \cdot k_{п,пл}^{-2,093}$, $R^2 = 0,812$

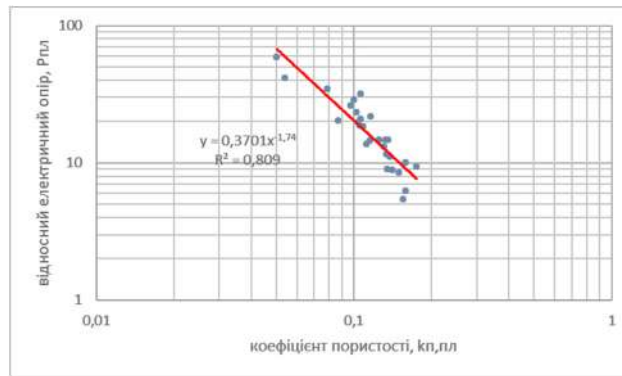


Рис. 14. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) та відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-7н (пластові умови): $P_{пл} = 0,3701 \cdot k_{п,пл}^{-1,74}$, $R^2 = 0,809$

Важливою інформаційною характеристикою при петрофізичних дослідженнях гірських порід є параметр збільшення електричного опору (P_H), який являє собою відношення питомого опору частково (не повністю) водонасичених порід ($\rho_{нв}$) до питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{пв}$): $P_H = \rho_{нв} / \rho_{пв}$. У процесі експериментальних лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М та статистичного аналізу даних електрометричних вимірювань для різних літологічних утворень Руновщинської площі були отримані кореляційні залежності параметра P_H від коефіцієнта водонасичення (k_B), які мають вид: (рис. 15–20).

Аналіз наведених даних свідчить, що для досліджених порід верхнього карбону коефіцієнт b у кореляційному рівнянні $P_H = b \cdot k_B^{-n}$, що виражає зв'язок між коефіцієнтом водонасичення і параметром збільшення електричного опору, змінюється від 1,1499 (аргіліт) до 1,4132 (пісковик крупнозернистий), а показник змочуваності n – від 0,713 (аргіліт) до 1,771 (пісковик середньозернистий). Для перспективних нафтоносних інтервалів b змінюється від 1,1972 (горизонт Г-6) до 1,5277 (горизонт Г-7в), а показник змочуваності n – від 1,275 (горизонт Г-7в) до 2,06 (горизонт Г-6).

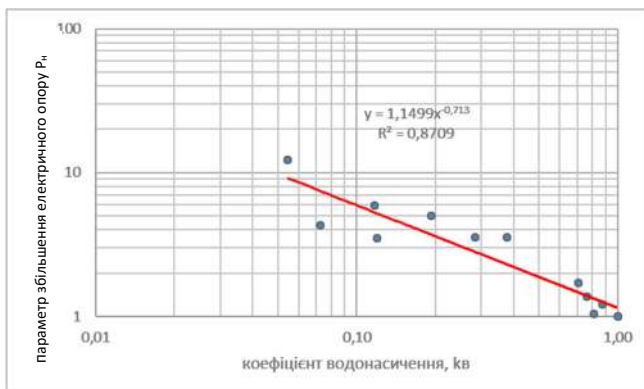


Рис. 15. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Аргіліт.
 $P_H = 1,1499 \cdot k_B^{-0,713}$, $R^2 = 0,871$

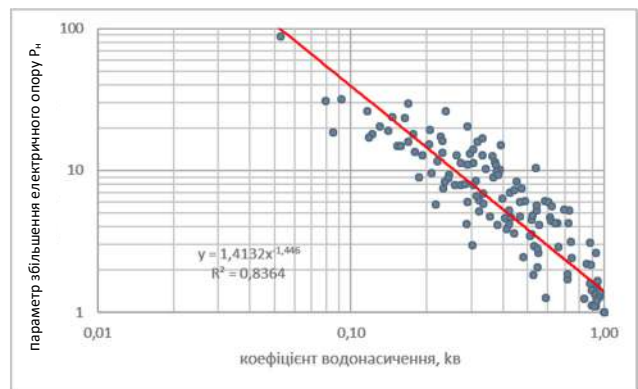


Рис. 16. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Пісковик крупнозернистий.
 $P_H = 1,4132 \cdot k_B^{-1,446}$, $R^2 = 0,836$

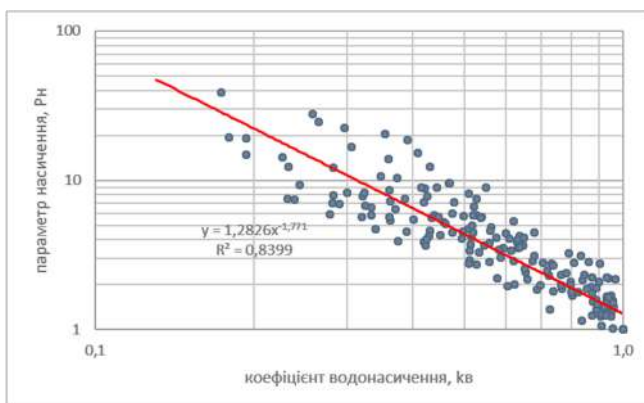


Рис. 17. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Пісковик середньозернистий.
 $P_H = 1,2826 \cdot k_B^{-1,771}$, $R^2 = 0,84$

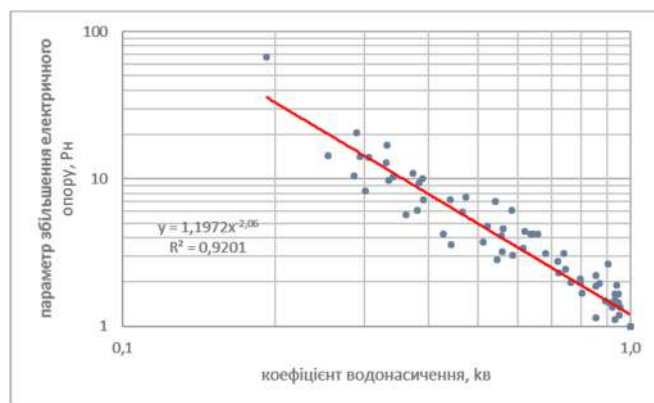


Рис. 18. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-6.
 $P_H = 1,1972 \cdot k_B^{-2,06}$, $R^2 = 0,92$

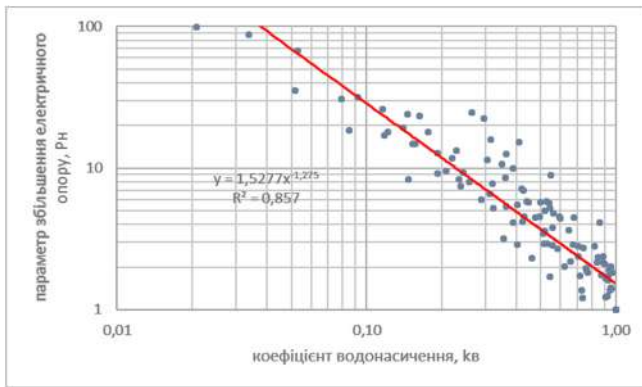


Рис. 19. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-7в.

$$P_H = 1,5277 \cdot k_B^{-1,275}, R^2 = 0,857$$

Слід зазначити, що пісковики із перспективних нафтоносних інтервалів Г-7в і Г-7н мають близькі за середніми значеннями електричні параметри (див. табл. 1). Водночас пісковики із перспективного інтервалу Г-6, порівняно з породами інтервалів Г-7в та Г-7н, характеризуються зниженим середнім електричним опором у сухому стані й підвищеними середніми показниками електричних параметрів у насиченому стані (табл. 1). Це свідчить про підвищену глинистість пісковиків інтервалу Г-6, а отже, і знижені їхні фільтраційно-ємнісні параметри.

Висновки. Відклади верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими, середньо- і крупнозернистими, олігоміктовими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією. Вони мають однорідну нешарувату текстуру, ускладнену присутністю прошарків аргілітів і пісковиків з гравійним матеріалом. Пісковики мають середній ступінь цементації, пористі, нетріщинуваті. В інтервалі глибин 3158–3164 м розріз представлений міцно зцементованими аргілітами темно-коричневого кольору із строкатим коричнево-сірим забарвленням. В їхньому складі відсутній карбонат і майже відсутня слюда. Аргіліти несланцюваті або слабкосланцюваті. В інтервалі глибин 3217–3229,7 м залягають пісковики світло-сірі, середньозернисті до крупнозернистих та гравелистих, пористі, шарами гідрофобні із запахом вуглеводнів.

У результаті лабораторних електрометричних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що значення питомого електричного опору сухих екстрагованих зразків порід (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє значення 751,328 кОм·м). Сухі пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 139,242 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє 854,659 кОм·м), а сухі аргіліти – від 44,802 кОм·м до 1,749 МОм·м (середнє 247,794 кОм·м). Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з різною глинистістю досліджених порід. При цьому спостерігаються значні варіації питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в тектурі порід (наявністю глинистих і піщанистих прошарків та їхньою невпорядкованістю).

Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl), змінюється від 0,54 до 10,46 Ом·м (середнє – 1,23 Ом·м). Насичені пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,54 до 2,99 Ом·м (середнє значення – 1,05 Ом·м), а насичені аргіліти – від 0,79 до 10,46 Ом·м (середнє – 2,58 Ом·м). Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує за цим параметром пісковики

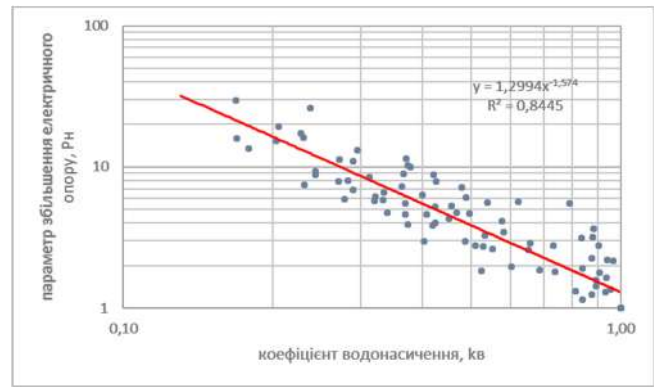


Рис. 20. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-7н.

$$P_H = 1,2994 \cdot k_B^{-1,574}, R^2 = 0,8445$$

у 2,46 рази. Це пояснюється переважним впливом на провідність порід вмісту у них пластової води, якої у пісковиках, у зв'язку з їхньою підвищеною порівняно з аргілітами пористістю, більше.

Визначено відносний електричний опір досліджених порід в атмосферних умовах. Отримані дані показали, що відносний електричний опір пісковиків варіює в межах від 6,05 до 33,71 (середнє – 11,8). Відповідний цим показникам діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,058 до 0,19 (середнє – 0,129). Відносний електричний опір аргілітів змінюється в межах від 4,76 до 51,47 за середнього значення 17,4, а коефіцієнта пористості – від 0,052 до 0,127 за середнього значення 0,1.

За результатами лабораторних електрометричних вимірювань, виконаних під час фізичного моделювання пластових умов, встановлено, що у пластових умовах питомий електричний опір порід змінюється від 0,3 до 3,0 Ом·м (середнє – 0,75 Ом·м). Пісковики у пластових умовах мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,3 до 2,3 Ом·м (середнє – 0,7 Ом·м), а аргіліти – від 0,5 до 3,0 Ом·м (середнє – 1,2 Ом·м). Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує середній показник цього параметра для пісковиків в 1,6 рази.

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

Дослідженнями відносного електричного опору порід у пластових умовах встановлено, що цей параметр змінюється від 5,4 до 63,3 за середнього значення 20,3. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 за середнього значення 0,113. Відносний електричний опір аргілітів у пластових умовах варіює від 13,4 до 88,7 за середнього значення 34,3, а відповідні цим змінам відносного опору варіації коефіцієнта пористості перебувають у межах від 0,043 до 0,115 за середнього значення 0,086.

Пісковики перспективних нафтоносних інтервалів Г-7в і Г-7н характеризуються близькими за середніми значеннями електричними параметрами. Пісковики перспективного інтервалу Г-6 порівняно з породами інтервалів Г-7в та Г-7н мають знижений середній електричний опір у сухому стані й підвищені середні електричні параметри в насиченому стані, що пояснюється підвищеною глинистістю пісковиків інтервалу Г-6 і, як наслідок, зниженими їхніми фільтраційно-ємнісними характеристиками.

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень дозволив установити для літологічних різновидів досліджених порід-колекторів верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором, а також між електричними параметрами в атмосферних і пластових умовах і між параметром збільшення електричного опору та коефіцієнтом водонасичення.

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. (2014). Електричні параметри порід, перспективних на сланцевий газ (ділянки східного сектору Дніпровсько-Донецької западини). *Геофизический журнал*, 36, 1, 145–157.
- Вижва, С. А., Онищук, Д. І., Онищук, В. І. (2012). Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 57, 13–16.
- Вижва, С. А., Онищук, І. І. та ін. (2017). Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. *Науково-технічний звіт*. Корпорація "Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка". Київ.
- Вижва, С. А., Рева, М. В., Гожик, А. П., Онищук, В. І., Онищук, І. І. (2010). Петроелектричні дослідження кернів складнопобудованих порід-колекторів. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 50, 4–7.
- Вижва, С. А., Михайлов, В. А., Онищук, І. І. (2017). Петрофізические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79, 12–20.
- Дахнов, В. Н. (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. М.: Недра.
- Карпенко, О. М., Михайлов, В. А., Карпенко, І. О. (2015). До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник Київського національного університету. 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. Геологія*, 77, 99–105.
- Михайлов, В. А., Вижва, С. А., Загнітко, В. М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Книга IV. Київ: ВПЦ "Київський університет".
- Михайлов, В. А., Куровець, І. М., Синьковський, Ю. Н. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Південний нафтогазоносний регіон. Книга III. Київ: ВПЦ "Київський університет".
- Нестеренко, М. Ю. (2010). *Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів. Київ: УкрДГРІ.*
- Садівник, М. І., Федоришин, Д. Д., Трубенко, С. Д., Федоришин, С. Д. (2013). Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід. *XII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна. Електронна публікація.
- Тиаб Д., Дональдсон, Э. Ч. (2009). Петрофізика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. М.: "Премиум Инжиниринг".
- Федоришин, Д. Д., Пятковська, І. О., Трубенко, О. М., Федоришин, С. Д., Трубенко, А. О. (2018). Удосконалення методик виділення порід-колекторів складнопобудованих геологічних розрізів з використанням математичної

статистики. *XVII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна. Електронна публікація.

Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrskaaerein Volyno-Podillia (Ukraine) Nafta-Gaz: RokLXXIII, 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]
- 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. *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kyiv, Ukraine. [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., Kurovets, I. M., Synkovskyy, Ju. N. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine: South oil and gas region. Book III. Kyiv: Kyiv University Publishing. [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]
- Nesterenko, M.Yu. (2010). Petrophysical basis of the substantiating of fluid saturation of reservoir rocks. Kyiv: UkrDHR. [in Ukrainian]
- Sadivnik, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., Fedoryshyn S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks. *12th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kiev, Ukraine. [in Ukrainian]
- 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., Onyshchuk, I. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells. *Report*. Science Park Kyiv Taras Shevchenko University. Kyiv. [in Ukrainian].
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., Onyshchuk, I. (2014). Reservoir Rocks in Impact Structures: Electrical Parameters. *Visnyk of Taras Shevchenko National university of Kyiv. Geology*, 65, 31–35. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, I. (2017). Petrophysical features of maikop series of the crimean-black sea region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79, 12–20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02> [in Russian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, D., Onyshchuk, V. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field. *Visnyk of Taras Shevchenko National university of Kyiv. Geology*, 57, 13–16. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S. A., Mykhailov, V. A., Onyshchuk, D. I., Onyshchuk, I. I. (2013). Petrophysical parameters of unconventional types of reservoir rocks from southern oil-and-gas region. *Geoinformatics*, 3 (47), 17–25. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S. A., Mykhailov, V. A., Onyshchuk, I. I. (2014). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-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 Volodymyrskaaerein Volyno-Podillia (Ukraine) Nafta-Gaz: Rok LXXIII, 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03.
- Vyzhva, S. A., Reva, M. V., Hozhyk, A. P., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk, I. I. (2010). Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-built reservoir rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 4–7. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 01.12.18

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof., E-mail: vyzhva_s@ukr.net
 V. Onyshchuk, PhD (Geol.), E-mail: vitus16@ukr.net
 I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Scientific Researcher,
 E-mail: oivan1@ukr.net
 M. Reva, Docent, PhD (Phys.-Math.), E-mail: mvreva@gmail.com
 O. Shabatura, PhD (Geol.), E-mail: dard@ukr.net
 Taras Shevchenko National University of Kyiv,
 Institute of Geology, 90 Vasylykivka Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ELECTRICAL PARAMETERS OF THE UPPER CARBON ROCKS (RUNOVSHCHYNSKA AREA OF THE DNEIPER-DONETSK BASIN)

The main objective of this article is to study electrical parameters of sandstones and argillites of the Upper Carbon rocks in the Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin.

It has been determined that specific electrical resistivity of dry rock samples (specific electrical resistivity of rock matrix) varies from 44,802 k Ω -m to 6,115 M Ω -m (average 751,328 k Ω -m). Specific electrical resistivity of sandstones is 3,45 times more than argillites due to different shaliness of studied rocks.

Specific electrical resistivity of saturated rocks samples varies from 0,54 Ω -m to 10,46 Ω -m (average 1,23 Ω -m). Specific electrical resistivity of argillites is 2,46 times more than sandstones because the latter had high content of reservoir water in their pores (sandstones had better conductivity).

It has been determined that formation resistivity factor of sandstones in atmospheric conditions varies from 6,05 to 33,71 (argillites 11,8), and argillites – from 4,76 to 51,47 (average 17,4).

Physical modelling of reservoir conditions (temperature $t = 78,5$ °C, pressure $p = 31-31,9$ MPa, mineralization $M = 170$ g/l) showed that specific electrical resistivity varies from $0,3 \Omega\cdot m$ to $3,0 \Omega\cdot m$ (average $0,75 \Omega\cdot m$). Sandstones in reservoir conditions had the range from $0,3 \Omega\cdot m$ to $2,3 \Omega\cdot m$ (average $0,7 \Omega\cdot m$), and argillites – from $0,5 \Omega\cdot m$ to $3,0 \Omega\cdot m$ (average $1,2 \Omega\cdot m$). In this case, specific electrical resistivity of argillites is 1,6 times more than sandstones. Due to the closure of microcracks and the deformation of the pore space, the electrical resistance of rocks increases with increasing pressure. The dependence of formation resistivity enlargement factor on pressure for the studied rocks is expressed by 2-order polynomials.

The formation resistivity factor of the studied rocks in reservoir conditions has been determined. It was defined that sandstones in reservoir conditions had the range of the formation resistivity factor from 5,4 to 63,3 (average 20,3), and porosity coefficient – from 0,038 to 0,175 (average 0,113). The range of the formation resistivity factor for argillites was from 13,4 to 88,7 (average 34,3), and porosity coefficient – from 0,043 to 0,115 (average 0,086).

Analysis of data of laboratory electrometric investigations has allowed establishing correlations between the porosity coefficient and formation resistivity factor. In addition, the correlation of electrical parameters of rocks in atmospheric and reservoir conditions and the formation resistivity enlargement factor from the water saturation coefficient, taking into account the lithological varieties of the studied rocks, was established.

Keywords: specific electrical resistivity, formation resistivity factor, formation resistivity enlargement factor, correlation ratio, sandstones, argillites.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф., E-mail: vsa@univ.net.ua

В. Онищук, канд. геол. наук, E-mail: vitus16@ukr.net

И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: oivan1@ukr.net

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц., E-mail: mvreva@gmail.com

А. Шабатура, канд. геол. наук, E-mail: dard@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОРОД ВЕРХНЕГО КАРБОНА РУНОВЩИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Посвящено изучению электрических параметров песчаников и аргиллитов верхнего карбона Рунувщинской площади Днепроовско-Донецкой впадины.

Установлено, что значение удельного электрического сопротивления сухих экстрагированных образцов пород (удельное электрическое сопротивление минерального скелета) изменяется от 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м (среднее – 751,328 кОм·м). Электрическое сопротивление песчаников превышает этот параметр для аргиллитов в 3,45 раза, что связано с большей глинистостью исследованных аргиллитов.

Удельное электрическое сопротивление образцов пород, насыщенных моделью пластовой воды, меняется от 0,54 до 10,46 Ом·м (среднее – 1,23 Ом·м). Электрическое сопротивление насыщенных аргиллитов превышает этот параметр для песчаников в 2,46 раза, что связано с преобладающим влиянием на проводимость пород присутствующей в них пластовой воды, которой в песчаниках, в связи с их повышенной пористостью, больше.

Установлено, что в атмосферных условиях относительное электрическое сопротивление песчаников изменяется от 6,05 до 33,71 (среднее – 11,8), а аргиллитов – от 4,76 до 51,47 (среднее – 17,4).

При физическом моделировании пластовых условий (температура $t = 78,5$ °C; давление $p = 31-31,9$ МПа; минерализация $M = 170$ г/л) установлено, что удельное электрическое сопротивление меняется от 0,3 Ом·м до 3,0 Ом·м (среднее – 0,75 Ом·м). Песчаники при пластовых условиях имеют диапазон изменения удельного электрического сопротивления от 0,3 Ом·м до 2,3 Ом·м (среднее – 0,7 Ом·м), а аргиллиты – от 0,5 Ом·м до 3,0 Ом·м (среднее – 1,2 Ом·м). Электрическое сопротивление аргиллитов превышает этот параметр песчаников в 1,6 раза. Вследствие закрытия микротрещин и деформации порового пространства электрическое сопротивление пород возрастает с увеличением давления. Зависимость коэффициента увеличения удельного электрического сопротивления от давления для исследованных пород выражается полиномами 2-го порядка.

Определено относительное электрическое сопротивление исследованных пород в пластовых условиях. Установлено, что песчаники в пластовых условиях имеют диапазон изменения относительного электрического сопротивления от 5,4 до 63,3 (среднее – 20,3). Соответствующий этому диапазон изменения коэффициента пористости составляет от 0,038 до 0,175 (среднее – 0,113). Для аргиллитов диапазон изменения относительного электрического сопротивления в пластовых условиях составляет от 13,4 до 88,7 (среднее – 34,3), а коэффициента пористости – от 0,043 до 0,115 (среднее – 0,086).

Анализ данных лабораторных электрометрических исследований позволил установить для различных литологических разновидностей исследованных пород Рунувщинской площади корреляционные связи между коэффициентом пористости и относительным электрическим сопротивлением, между электрическими параметрами пород в атмосферных и пластовых условиях, а также между параметром увеличения электрического сопротивления и коэффициентом водонасыщения.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, относительное электрическое сопротивление, параметр увеличения сопротивления, корреляционные зависимости, песчаники, аргиллиты.