

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р. геол. наук, М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, А. Гожик, канд. геол.-мін. наук,
В. Онищук, асп., І. Онищук, канд. геол. наук

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРНУ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

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

Розглядаються особливості методики та результати петроелектричних досліджень при вивченні складнобудованих карбонатних колекторів. Наведено результати визначення питомого електричного опору та його зв'язок з ємнісними та фільтраційними властивостями на колекції із 33 зразків при лабораторних умовах та умовах, що моделюють пластові.

The features of method and results of petroelectrical investigation of complex-structured terrigenous reservoir are considered. As well results of determination of specific electric resistance and his connection with capacity and filtration properties of 33 sample's collection in the laboratory conditions and modeling of rock unit conditions.

Вступ. Перспективи приросту запасів вуглеводнів значною мірою пов'язані із складнобудованими карбонатними колекторами. В світі в останні роки до 70 % ресурсів вуглеводнів відкриті в карбонатних колекторах.

В той же час зв'язки між ємнісно-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних і польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення, основою для цього є комплекс лабораторних досліджень.

Одним із найбільш інформативних параметрів при визначенні геоелектричних властивостей гірських порід є питомий електричний опір (ρ). Цей параметр визначається: речовинним складом та текстурою породи; її нафто-, газо-, водонасиченістю; коефіцієнтом пористості; структурою ємнісного простору; мінералізацією пластових вод; температурою і тиском [1-6].

Метою визначення питомого електричного опору породи є уточнення меж його зміни для окремих типів і груп порід; виділення окремих стратиграфічних підрозділів, розрізів та фацій; встановлення характеру залежності питомого опору порід від мінерального складу, структури порового простору, співвідношення фаз речовини, частоти і напруженості електричного поля; виявлення характеру зміни питомого електричного опору при епігенетичному перетворенні та метаморфічних змінах гірських порід.

Особливий інтерес представляє встановлення основних факторів, що впливають на зміну питомого електричного опору. Зокрема, комплексні петрографічні, геохімічні та петроелектричні дослідження дозволяють встановити зв'язки між електричним опором та мінеральним складом зразків керну. Петроелектричні дослідження до і після екстрагування зразків та після їх насичення моделлю пластової рідини дозволяють оцінити вплив солей і пустот на цей параметр. Відомості, одержані в результаті лабораторних досліджень змін питомого електричного опору порід, використовуються при інтерпретації результатів методів електрометрії свердловин та електророзвідки а також для вирішення багатьох інших геологічних задач.

В статті наведені особливості і результати лабораторних петроелектричних досліджень керну з інтервалу 3010 – 3022 м нафтогазопошукової свердловини, що розташована в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Породи з дослідженого інтервалу представлені переважно вапняками в різній мірі зміненими.

Методика лабораторних петроелектричних досліджень. Питомий електричний опір гірських порід в

лабораторних умовах визначався шляхом вимірювання електричного опору зразка спеціальної форми, виготовленого з керну свердловини. Зразки мали форму циліндрів діаметром 30 мм і довжиною 30 мм. Електричний опір (R_{em}) зразка породи може бути виміряний багатьма способами, які розділяються на дві основні групи: безпосередньої оцінки і способом порівняння у рівноважному режимі. У кожній з названих груп існують модифікації прямих (приладом вимірюється електричний опір) і непрямих способів (приладом вимірюється різниця потенціалів на зразку (ΔU) та на еталонному опорі R_{em} (ΔU_{em}) у вимірювальному електричному ланцюзі, або різниці потенціалів на зразку (ΔU) та сили струму (I) з подальшим розрахунком опору зразка за формулами $R_{zp} = (\Delta U / \Delta U_{em}) \cdot R_{em}$ або $R_{zp} = \Delta U / I$. Вимірювання можуть бути виконані як на постійному, так і на змінному струмах. При використанні прямих способів безпосередньої оцінки опору на постійному струмі вимірювання проводяться омметром (мегаомметром, тераомметром); при застосуванні непрямих способів на постійному струмі, вимірювання здійснюються вольтметром, вольтметром-амперметром, вольтметром-амперметром з охоронним кільцем, вольтметром – електрометром. При непрямих способах вимірювань на змінному струмі використовують вольтметр і вольтметр-амперметр. При цьому широко застосовуються мостові схеми.

При наших дослідженнях лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків вапняків виконані за допомогою цифрового тераомметра С.А 6547, що дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм з цифровим записом на ЕОМ за спеціальною програмою. При насиченні зразків розчином NaCl (моделлю пластової рідини, $M=150$ г/л) визначення електричного опору зразків виконувались за допомогою вимірювача опору Ф-4103-М1 і комплексу апаратури "ЕРП-1" на постійному та змінному струмі. Вимірювання виконувались по двохелектродній схемі при лабораторній температурі $20^\circ - 21^\circ$ С. Циліндричні зразки при вимірюванні вставлялися в спеціальний кернотримач з електродами, що не поляризуються (виготовлені із спеціальної графітізованої гуми). Середня відносна похибка визначення електричного опору на серії із 10 зразків складала 2,9 %.

При обробці матеріалів лабораторних електрометричних досліджень питомий електричний опір зразка визначався за формулою $\rho = \frac{R}{\frac{1}{d} + \frac{4l}{\pi d^2}}$, де l – довжина

циліндричного зразка, d – діаметр циліндричного зразка, R – електричний опір системи "опір зразка + перехідний опір електродів". Параметр пористості P визначається за формулою $P = \rho_{\text{вп}} / \rho_{\text{в}}$, де $\rho_{\text{вп}}$ – питомий опір на 100% водонасиченої породи, $\rho_{\text{в}}$ – питомий опір води.

Результати електрометричних досліджень. Досліджений інтервал свердловини (глибина 3010 – 3022 м) представлений вапняками піщанистими та вапняковими пісковиками, тонко- і дрібнозернистими, тонко- грубо смугастими в різній мірі змінених. Зустрічаються прошарки глинистого матеріалу та аргілітів, включення органічних залишків та піритизація. Лабораторні електрометричні дослідження виконані для колекції із 33 зразків. За результатами лабораторних вимірювань встановлено, що значення питомого електричного опору виміряні на екстрагованих зразках (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 150 до 350000 Ом·м при середньому значенні 46800 Ом·м. При цьому спостерігаються значні варіації значень питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в текстурі порід (наявність глинистих і піщанистих прошарків та їх невпорядкованість, а також піритизація).

За значеннями питомого електричного опору мінерального скелету зразків в досліджуваному інтервалі свердловини виділено три групи порід:

1. породи з низькими значеннями питомого електричного опору (ρ) мінерального скелету – ρ змінюється від 150 Ом·м до 550 Ом·м при середньому значенні 315 Ом·м (9 зразків);

2. породи із середніми значеннями питомого електричного опору мінерального скелету – ρ змінюється від 1200 Ом·м до 6000 Ом·м при середньому значенні 2930 Ом·м (11 зразків);

3. породи із високими значеннями питомого електричного опору мінерального скелету – ρ змінюється від 11200 Ом·м до 350000 Ом·м при середньому значенні 107960 Ом·м (13 зразків).

Слід відмітити, що середнє значення коефіцієнта відкритої пористості зменшується від першої групи до третьої з коефіцієнтом 0,54 – 0,65.

Аналіз даних вимірювання питомих електричних опорів при насиченні зразків моделлю пластової рідини, показує що вищенаведена тенденція зберігається. При цьому опір порід першої групи змінюється від 3,6 Ом·м до 8,6 Ом·м, середнє значення – 5,9 Ом·м; другої групи – від 13 Ом·м до 51 Ом·м, середнє значення складає 25,4 Ом·м; третьої групи – від 21,2 Ом·м до 64 Ом·м, середнє значення складає 36,5 Ом·м.

За результатами комплексного аналізу електрометричних та геохімічних даних встановлено, що вміст породоутворюючих окислів зростає в породах 2 групи в порівнянні з породами третьої групи: TiO_2 в 1,06, Al_2O_3 в 1,52, K_2O в 2,08, P_2O_5 в 1,26 раз, хлору та зв'язаної води, відповідно, в 9 і 1,31. Вміст породоутворюючих окислів зростає в породах 1 групи в порівнянні з породами 3 групи: TiO_2 в 3,29, Al_2O_3 в 3,79, K_2O в 4,57, P_2O_5 в 2,08 раз, хлору та зв'язаної води, відповідно, в 12 і 5,19. В той же час вміст CaO зменшується для третьої групи – 0,91, для першої групи – 0,37 від вмісту в породах третьої групи.

За матеріалами лабораторних досліджень побудована кореляційна залежність (рис. 1) між коефіцієнтом пористості (k_n) і параметром пористості (P). Визначене рівняння Арчі має вигляд: $P = 0,9187 \cdot k_n^{-1,3437}$, при $R^2 = 0,8946$.

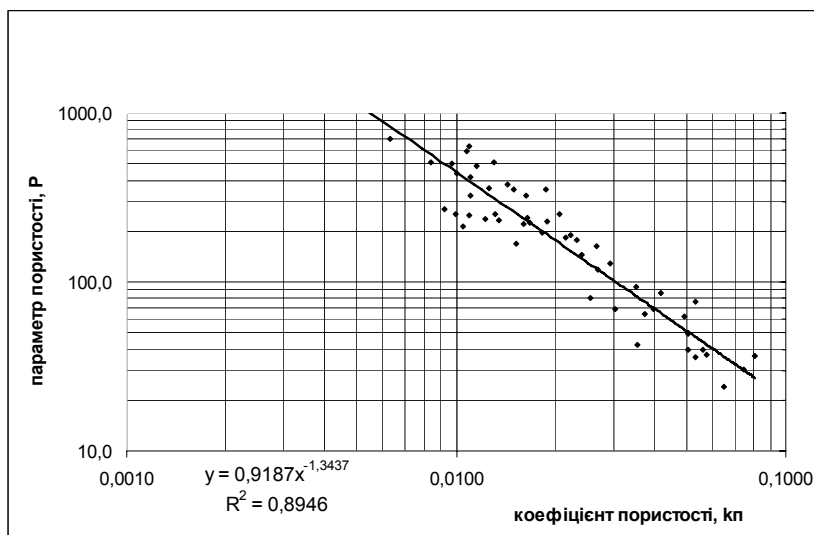


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та параметром пористості (P) – рівняння Арчі (лабораторні умови)

Виконані дослідження зміни питомого електричного опору при відгонці залишкової води на центрифугі ОС-6М (від 1000 до 6000 об/хв. з кроком 1000 об/хв., прискорення від 122 g до 4400 g). Встановлено кореляційну залежність параметра насичення (P_H) від коефіцієнта їх водонасичення (k_e):

$$P_H = 1,2194 \cdot k_e^{-2,975}, \text{ при } R^2 = 0,7303,$$

де $P_H = \rho_{\text{нп}} / \rho_{\text{пв}}$, $\rho_{\text{нп}}$ – питомий електричний опір неповністю водонасичених порід, $\rho_{\text{пв}}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід. Ця кореляційна залежність представлена на рис. 2.

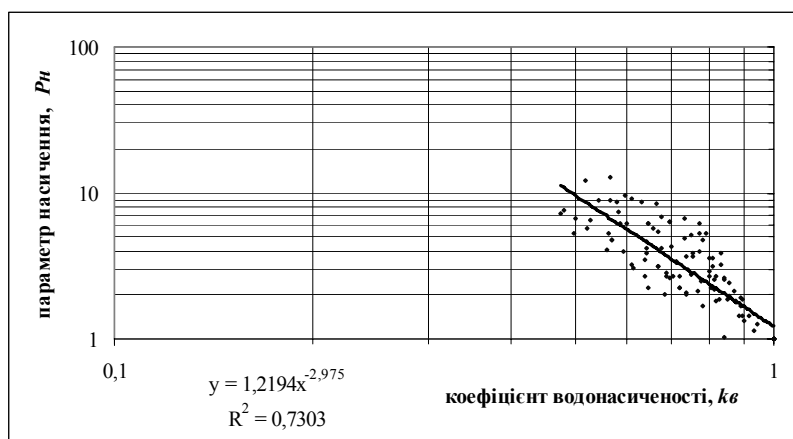


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасиченості (k_v) та параметром насичення (P_n)

Для оцінки питомого електричного опору порід в пластових умовах виконані його вимірювання на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1 при зміні тиску від атмосферного до 600 кгс/см².

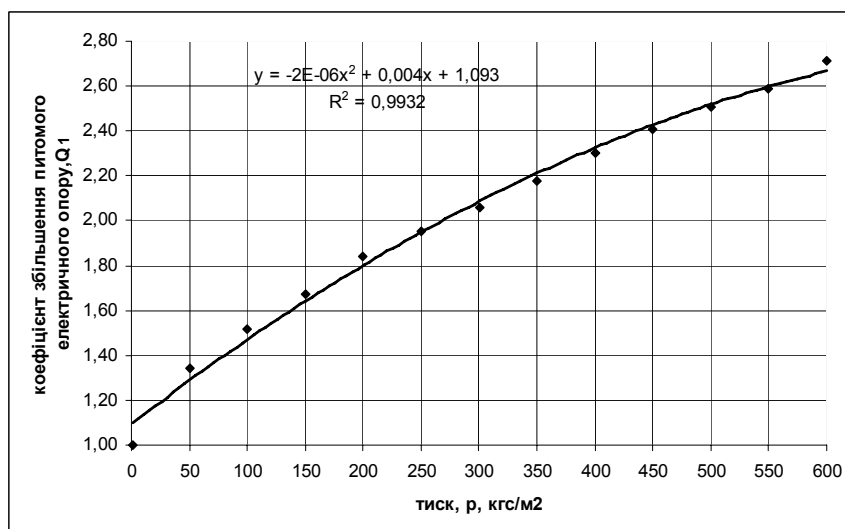


Рис. 3. Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого опору досліджених порід (Q_1) від пластового тиску (p)

Визначена залежність середнього значення коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q_1) від пластового тиску (p):

$$Q_1 = -2 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1,093, \text{ при } R^2 = 0,9932$$

Графік цієї залежності представлений на рис. 3.

Вимірювання питомого електричного опору під тиском дало можливість оцінити питомий електричний опір

досліджених порід в пластових умовах (тиск 400 кгс/см²; температура 100 °С).

За матеріалами петроелектричних досліджень при високих тисках встановлена залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості (P) в пластових умовах. Визначене рівняння Арчі має вигляд (рис. 4):

$$P = 8,5983 \cdot k_{n,пл}^{-0,9377}, \text{ при } R^2 = 0,7695.$$

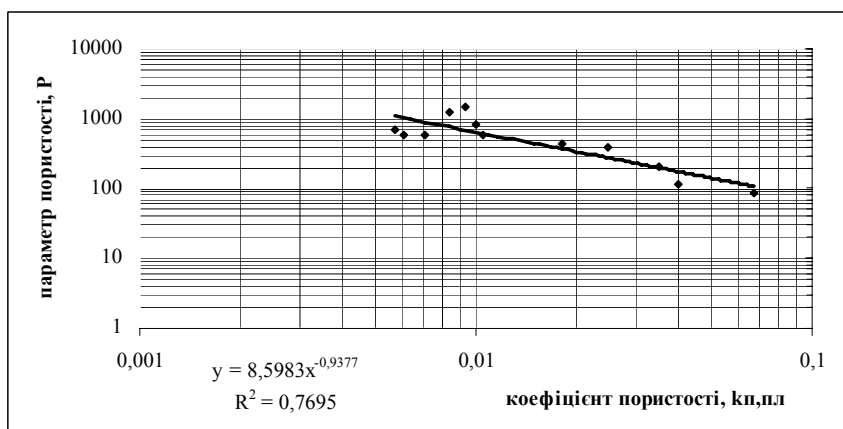


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості (P) – рівняння Арчі (тиск 400 кгс/см²; температура 100 °С)

Висновки. За електрометричними даними досить чітко виділяються три групи вапняків, що зумовлюється змінами їх хімічного складу та пористості.

Залежність питомого опору порід від їх водонасичення має експоненціальний характер та високий коефіцієнт кореляції.

Вимірювання питомого електричного опору під тиском дало можливість оцінити питомий електричний опір досліджених порід в пластових умовах.

Питомий електричний опір порід-колекторів є важливою характеристикою стану гірських порід і слугує одним із критеріїв при виділенні перспективних інтервалів.

Лабораторні петроелектричні дослідження дали змогу оцінити колекторські властивості порід інтервалу 3010 – 3022 м. В результаті аналізу матеріалів лабораторних петроелектричних досліджень побудовано ряд кореля-

ційних залежностей: коефіцієнта пористості від параметра пористості (рівняння Арчі) при лабораторних та пластових умовах; коефіцієнта збільшення питомого електричного опору від тиску та коефіцієнта водонасиченості.

За значеннями параметра пористості та нафтогазонасичення досліджені породи відносяться до колекторів IV та V класів – пористість низька та дуже низька [2].

1. Вижва С.А., Рева М.В., Гожик А.П., Онищук В.І., Онищук І.І. Петроелектричні дослідження керну свердловини Чорноморського шельфу // Вісн. Київ. ун-ту. Сер.Геологія. – 2008. – № 44 – С. 4–8. 2. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – М., 1975. 3. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – М., 1965. 4. Петрофизика. Справочник. / Под ред. Н.Б. Дортман / ч.1. – М., 1992. 5. Петрофизика. Справочник. / Под ред. Н.Б. Дортман / ч.2. – М., 1992. 6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. – М., 1984.

Надійшла до редколегії 23.11.09

УДК 550.8.013

О. Маковець, асп., О. Карпенко, д-р. геол. наук, проф.,
Г. Башкіров, канд. геол.-мінералог. наук

ОЦІНКА НАФТОГАЗОНАСИЩЕННЯ ПОРІД МАЙКОПУ РОДОВИЩА СУББОТИНА ЗА ДАНИМИ КОМПЛЕКСУ ГДС

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.- мінералог. наук, проф. В.М. Курганським)

Продуктивні відклади майкопу нафтогазового родовища Субботіна є типовими для величезної за простяганням і товщиною тонкошаруватої теригенної товщі українського сектору шельфу Чорного моря. За своєю структурою та геолого-геофізичними характеристиками породи-резеруари нафти і природного газу відносяться до так званих "колекторів складної будови". Необхідні нові підходи і методики, призначені для виявлення продуктивних інтервалів, усунення неоднозначності інтерпретаційних висновків і підвищення точності в отриманні ємнісно-фільтраційних параметрів складнобудованих порід-колекторів. Тут наведено приклад комплексного використання наявного геолого-геофізичного матеріалу із застосуванням лінійного дискримінантного аналізу.

The productive Maykopian deposits of Subbotina oil-and-gas field are the typical for infinite strike and thickness of fissile terrigenous strata of Ukrainian sector of Black Sea shelf. On the structure and geological-geophysical characteristics oil-and-gas reservoirs referred to so-called "complex structure reservoirs". It is necessary to use a new approaches and the methodology intended for eliciting of production ranges, interpretation results uncertainty elimination and accuracy enhancement in obtaining of complex reservoirs bulk properties. Here brought an example of complex realization of available geological-geophysical data with linear discriminant analysis using.

Аналіз світового досвіду свідчить, що перспективи наращування розвіданих запасів нафти і газу слід пов'язувати, з так званими, "нетрадиційними" колекторами із складними літолого-петрофізичними характеристиками. Одними з таких об'єктів, в межах південного нафтогазонасного регіону України, є складнобудовані "тонкошаруваті колектори" майкопського комплексу. В той же час, процес наращування темпів освоєння вуглеводневих ресурсів цих комплексів, значною мірою стримується відсутністю відповідних методик вивчення такого типу колекторів, виділення їх у розрізі та визначення їх промислових параметрів. У літологічному відношенні відклади майкопу представлені піщано-глинистою товщею, з істотним переважанням глинистих порід. Колектори в майкопському комплексі представлені теригенними алевроито-піщаними породами і відносяться до гранулярних колекторів порового типу. На Прикерченському шельфі, у продуктивному розрізі, кількість колекторів, які представлені пісковиками досягає 40-50 %. В стратиграфічному відношенні найбільша кількість пісковиків зустрічається у відкладах нижнього майкопу.

Для задач якісної інтерпретації – виділення пластів-колекторів, оцінки їх характеру насичення – необхідна значна за об'ємом статистична інформація, яка ґрунтується на результатах численних випробувань пластів та інтервалів розрізів свердловин. Безумовно, за відсутності такої інформації, для створення вирішальних правил поділу пластів розрізу на колектори і неколектори, на водонасичені, продуктивні і некондиційні породи за даними ГДС, можна використовувати апріорну інформацію, отриману в ході вивчення аналогічних відкладів на сусідніх площах або родовищах. Проте, під час вивчен-

ня складних типів розрізів, коли спостерігається значна мінливість літофаціальних і колекторських характеристик порід на території досліджень, ефективне використання "сусідньої" інформації досить проблематичне.

У процесі досліджень методами промислової геофізики складних, у геологічному відношенні, розрізів, виникають ситуації, коли існуючі стандартні методи інтерпретації не забезпечують отримання однозначних відповідей щодо характеру насичення гірських порід. Це пов'язано з тим, що стандартні або "класичні" способи інтерпретації даних ГДС орієнтовані на використання формалізованих, спрощених петрофізичних моделей. У таких моделях або алгоритмах інтерпретації в явному вигляді присутні 2-4 геофізичні або петрофізичні параметри. Виходячи з того, що будь-який геологічний об'єкт досліджень є дуже складною системою з позицій системного аналізу або математичної статистики, у будь-яких петрофізичних моделях повинні бути відображені зв'язки між значно більшою кількістю параметрів, ніж звичайно прийнято. У даному випадку присутній цілий спектр характеристик порід, які вкрай ускладнюють роботу геофізиків-інтерпретаторів: тонкошарувата будова (з прошарками колекторів від одиниць до перших десятків сантиметрів), підвищений вміст К-польових шпатів і уламкових порід ("поліміктівність"), значна ущільненість порід на глибинах понад 2000–3000 м, тріщинуватість порід. Окрім того, мінералізація пластових вод складає 20–30 г/л, температура перевищує 100 °С.

Наведені характеристики тонкошаруватого розрізу за умови використання типового комплексу геофізичних досліджень, обмеженого звичайним набором методів електричного каротажу – ПС, БКЗ, ІК, БК, БМК, МКЗ, ра-

© Маковець О., Карпенко О., Башкіров Г., 2010