

4 Воронов А.Н., Махмудов А.Х., Несмелова З.Н. и др. Природные газы осадочной толщи. – Л: Недра., 1976. – 344 с.

5 Акулиничев Б.П., Панченко А.С., Пугачева М.Ф. Водорастворимые газы Предкавказья и проблемы их использования в народном хозяйстве / В сб. Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. – Л: Ротапринт ВНИГРИ, 1990. – С. 138-144.

6 Корцепштейн В. Н. Принципы районирования перспективных территорий, представляющих интерес для утилизации растворимых газов пластовых вод / В сб. Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. – Л: Ротапринт ВНИГРИ, 1990. – С. 116-123.

7 Каплан Е.М. Современное состояние промышленного освоения газонасыщенных вод за рубежом / В сб. Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. – Л: Ротапринт ВНИГРИ, 1990. – С. 138-143.

8 Патент 19699 України, МПК (2006) E21B43/16, E21B43/24 (2006.01), Спосіб видобування природних газів з газонасичених підземних вод / Р.М.Говдяк, Л.Б.Чабанович, О.Г.Гриник, Ю.А.Нечаєв, Б.І.Шелковський та ін. – Опубл. 15.12.06., Бюл. №12.

9 Патент 19698 України, МПК (2006) E21B43/16, E21B43/24 (2006.01), Установа для видобування природних газів з газонасичених підземних вод / Р.М.Говдяк, Л.Б.Чабанович, О.Г.Гриник, Ю.А.Нечаєв, Б.І.Шелковський та ін. – Опубл. 15.12.06., Бюл. №12.

УДК 550.832

ДО ПИТАННЯ ПРИЧИН МІНЛИВОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ

Д.Д. Федоришин, О.А. Гаранін, С.Д. Федоришин

ІФТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, Карпатська, 15, тел. (03422) 42056,
e-mail: gdsf@nimg.edu.ua

Рассмотрены основные причины и исследованы факторы деформирующие электрические параметры нефтегазонасыщенных пород-коллекторов. Разработаны критерии диагностики низкоомных пород-коллекторов по результатам электрического каротажа.

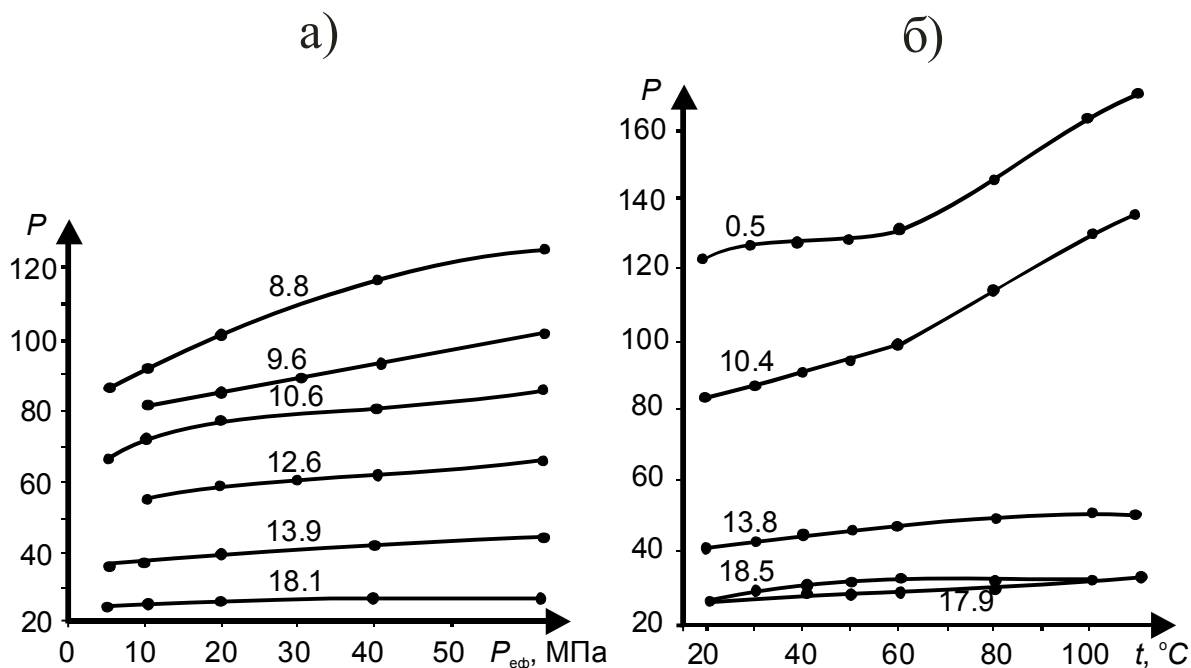
This article focuses on the reasons and factors that deform electric parameters of oil and gas saturated reservoirs. The data obtained from side logging probes and side logging services has enabled to work out the criteria that diagnoses low resistant reservoirs

Вивченню природи електропровідності порід-колекторів присвячено багато наукових праць вчених-дослідників як України, так і країн СНД [1-6]. Напряма наукових досліджень і опубліковані результати характеризують в основному дослідження мінливості електричних параметрів порід-колекторів теригенних відкладів із іонною електропровідністю. У роботах М.М.Елланського [5,6] висвітлено основні механізми формування залишкового водонасичення, утворення подвійного електричного шару гідрофільних порід-колекторів, встановлено петрофізичні взаємозв'язки фільтраційно-емнісних параметрів порід із їх електричними характеристиками. Отримані дані з достатньою повнотою характеризують причини мінливості електричних параметрів порід-колекторів теригенних відкладів та пов'язують їх з характером насичення. Інший напрям досліджень параметрів електричних полів у гірських породах пов'язаний із мінералогічною будовою матриці породи (мінерального скелету), яка обумовлює електронну провідність [1-3]. Результати таких досліджень дають змогу обґрунтувати електропровідність поліміктових пісковиків нафтогазових родовищ. Однак результати геофізичних досліджень свердловин багатьох нафтогазових

родовищ України свідчать, що запропоновані методики врахування впливу іонної провідності на електричний опір гірських порід не завжди є дієвими. Особливо це помітно під час дослідження свердловин з тонкошаруватою геологічною будовою та багатомінеральним складом скелету породи. В цьому випадку нафтогазонасичені породи характеризуються за даними електричних методів як водоносні, опір яких змінюється в межах 2÷4 Ом·м. Аналіз причин таких розбіжностей показав, що не завжди деформація параметрів електричного поля пов'язана із іонною провідністю. На характер електропровідності продуктивних порід впливають також умови їх утворення, способи розкриття пластів, тип промивальних рідин і стабілізуючих хімреагентів, час формування зони проникнення, її радіус і структура, а також чутливість зондової установки.

Таким чином, встановлення причин аномальності електричних параметрів продуктивних пластів нафтогазових родовищ у кожному конкретному випадку є актуальним і необхідним завданням.

У геологічних розрізах тонкошаруватої будови продуктивні пласти в окремих випадках не виділяються за даними електричних та ра-



**Рисунок 1 — Залежність відносного електричного опору зразків пісковиків з візейських і турнейських відкладів ДДЗ від ефективного тиску (а) і температури (б)
Шифр кривих — коефіцієнт пористості, %**

діоактивних методів. Пояснюється це мінливістю співвідношення «сигнал/шум» та відношенням довжини зонда (L) до товщини пластів (h). Так за співвідношенням «сигнал/шум», рівному одиниці, і за співвідношенням L / h , що наближається до нуля, електричні методи для вирішення поставленого завдання є найінформативнішими.

Практика обробки результатів наведених вище методів у візейських та турнейських відкладах нафтогазових родовищ ДДЗ свідчить, що на окремих свердловинах Кобзівського, Андріяшівського та Семенівського родовищ трапляється неадекватність визначених за даними ГДС фізичних параметрів насиченню порід, що вивчалися. Зокрема, це добре видно з показів електрометрії свердловини № 7–Андріяшівська (інтервал 5250–5300 м). У наведеному прикладі газонасичені пласти характеризуються незначним електричним питомим опором (3–4 Ом·м). Аналогічна картина спостерігається у свердловинах №№ 5 і 9–Кобзівська, 1–Селюхівська, 9–Яблунівська, пласти яких у інтервалах відповідно 3316–3326м; 3319–3335м; та 4740–4748м характеризуються невисокими питомими електричними опорами (від 2 до 5 Ом·м) і в яких під час випробовувань було отримано притоки газу.

З метою встановлення причин низькоомності продуктивних пластів та розробки рекомендацій щодо підвищення інформативності результатів електричних досліджень у свердловинах, нами сформовано і проведено комплекс лабораторних та свердловинних досліджень і експериментів на керновому матеріалі. За результатами цих робіт встановлено петрофізичну модель зв'язку відносного електричного опору породи-колектора із його емнісними параметрами. Моделювання проводилось із

врахуванням фазового складу пластових флюїдів та відповідних глибинам залягання температур і тисків. Для реалізації цього завдання нами досліджувалися зразки керну відібраного із продуктивних пластів візейських і турнейських відкладів Яблунівського, Андріяшівського та Селюхівського родовищ. На рис. 1 для цих відкладів зображено графіки встановлених залежностей відносного опору (P) від ефективного тиску і температури.

Як впливає з рис. 1, а, із збільшенням ефективного тиску за постійної температури величина P зразків порід-колекторів, що вивчаються, монотонно зростає. Найбільш інтенсивний ріст параметра P відбувається у випадку збільшення ефективного тиску від 5 до 40 МПа. Більш значні зміни параметра P спостерігаються для низькопористих колекторів із підвищеним вмістом глинистого матеріалу в цементі породи.

Одержані результати підтверджують висновки В.Ф.Індутного [2] про вплив ефективного тиску на величину відносного опору пісковиків кам'яновугільних відкладів ДДЗ. Тобто, збільшення відносного опору зразків тим значніше, чим більша глинистість пісковиків і менша їх пористість.

Вплив ефективного тиску $P_{\text{эф}}$ на коефіцієнт збільшення опору (параметр насичення) P_n аналогічний впливові $P_{\text{эф}}$ на відносний опір і відрізняється лише збільшенням градієнту зміни величини P_n для зразків пісковиків із низькою водонасиченістю і високою пористістю. За заляганої водонасиченості і ефективного тиску 62 МПа, відповідного глибини залягання порід, значення P_n за незмінної температури може зрости у двічі і більше разів.

Таблиця 1 — Межі зміни петрофізичних характеристик у досліджуваних групах зразків порід-колекторів

Виділена група порід-колекторів	Коефіцієнт пористості, %	Коефіцієнт глинистості, %	Коефіцієнт залишкового водонасичення, %	Коефіцієнт абсолютної проникності, $\times 10^{-3}$, мкм ²	Відносний опір
1 група	13,8-18,9	6,0-13,2	9,6-13,4	45-384	30-53
2 група	8,8-13,8	3,6-16,2	19,0-50	2,2-63,0	89-169

Таблиця 2 — Відносна зміна параметра пористості P для виділених груп порід-колекторів залежно від ефективного тиску $P_{\text{еф}}$ і температури

Виділена група порід-колекторів	$P_{\text{еф}}$, МПа	Температура, °С							
		110°	100°	80°	60°	50°	40°	30°	20°
1 група (III клас за А.А.Ханінім)	62	1.17	1.18	1.15	1.11	1.11	1.07	1.04	1.00
	40	1.16	1.17	1.14	1.10	1.10	1.06	1.04	1.00
	20	1.13	1.14	1.12	1.10	1.10	1.06	1.06	1.00
	10	1.14	1.14	1.13	1.10	1.10	1.06	1.03	1.00
2 група (IV – V клас за А.А.Ханінім)	62	1.49	1.43	1.26	1.11	1.08	1.05	1.04	1.00
	40	1.43	1.37	1.22	1.08	1.05	1.02	1.02	1.00
	20	1.42	1.37	1.23	1.09	1.04	1.01	1.02	1.00
	10	1.41	1.36	1.23	1.09	1.05	1.00	1.00	1.00

Із зростанням температури за постійного ефективного тиску спостерігається також і зростання відносного опору (параметра пористості) P (див. рис. 1, б), причому за температури від 50°С для зразків пісковиків із пористістю менше 12% спостерігається збільшення крутизни графіка $P = f(t)$. За характером зміни величини P залежно від температури, породи-колектори, що вивчаються, можна поділити на дві групи. Середні значення величин зміни петрофізичних характеристик і параметрів досліджуваних колекторів наведені в таблицях 1 і 2.

Характерною особливістю порід першої групи є незначне збільшення величини P за підвищення температури від 20 до 110°С. Максимальне збільшення величини P сягає 20%. Породи-колектори цієї групи відрізняються високим вмістом піщаної фракції, низьким вмістом глинистої фракції, високими значеннями пористості і проникності (див. табл. 1). Цемент таких порід кварцовий, каолінітовий з домішкою карбонатів і незначної кількості гідрослюд. Згідно класифікації А.А. Ханіна [4] вказані породи можна віднести до III класу колекторів.

Для порід другої групи величина P після порівняно плавного, незначного збільшення в діапазоні температур 20–50°С різко змінює градієнт зростання при подальшому підвищенні температури, і за температури 110°С (пластова температура) збільшується на 40–50%. Від порід першої групи породи другої групи відрізняються значно гіршими колекторськими властивостями (див. табл. 1). За класифікацією А.А.Ханіна ці породи-колектори можна віднести до IV–V класів. Величина і характер зміни відносного опору порід другої групи, на наш погляд, значною мірою залежить від нерівномірності розповсюдження у матриці породи породоутворюючих мінералів, що значно усклад-

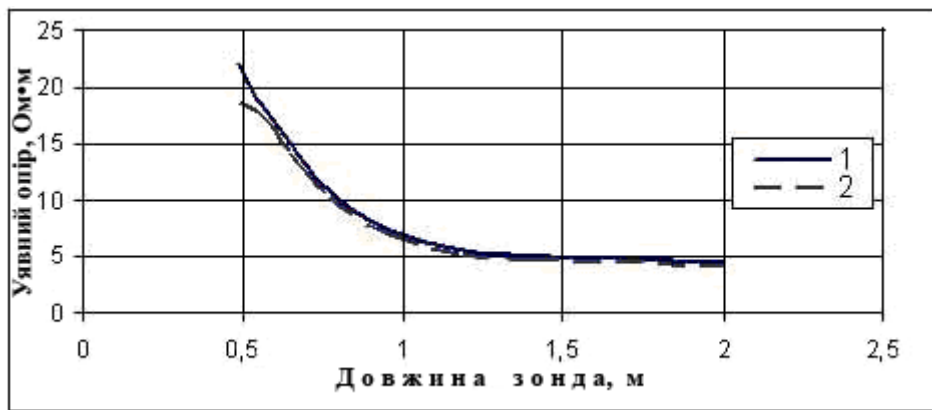
нює електропровідність структури порових каналів гірських порід в процесі їх нагрівання.

Аналіз наведених даних свідчить, що величина відносного опору P зростає за одночасного підвищення ефективного тиску і температури. Найінтенсивніша зміна значень P спостерігається для низькопористих пісковиків, тобто для другої групи виділених порід-колекторів.

При фіксованих значеннях ефективного тиску $P_{\text{еф}}$ зміна коефіцієнта збільшення опору $P_{\text{н}}$ із зростанням температури протилежна зростанню відносного опору P , тобто із зростанням температури значення $P_{\text{н}}$ зменшуються, причому значніше для зразків порід із низьким водонасиченням. Природа зміни коефіцієнта збільшення опору $P_{\text{н}}$ із зростанням температури досить складна і залежить від багатьох чинників.

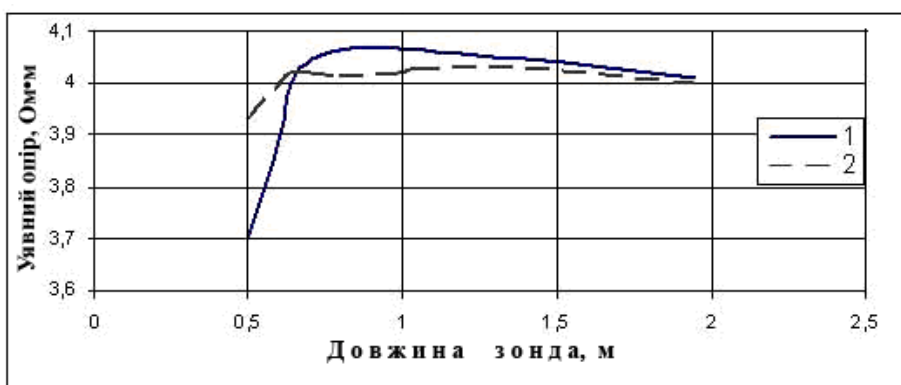
З метою встановлення причини низькоомності продуктивних пластів та чинників, що її обумовлюють, нами на зразках керну проводились додаткові лабораторні дослідження основних літолого-петрофізичних характеристик, які визначають електропровідність породи-колектора. Результати петрографічного аналізу шліфів дали змогу встановити наявність в низькоомних породах основних породоутворюючих мінералів, а саме: кварцу, кальциту, мусковіту, шамозиту, ілліту, біотиту, каолініту. В окремих випадках у шліфах зустрічаються розрізнені зерна глауконіту, піриту та халькопіриту. Однак через незначний вміст вони не впливають на електричну провідність матриці породи.

За результатами свердловинних досліджень порід візейських та турнейських відкладів ДДЗ методом бокового каротажного зондування побудовано фактичні криві, форма яких значною мірою залежить від типу колектора та приналежності його до вказаних вище класів колекторів. У пластах, що характеризуються як



$\rho_{zn} = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho_n = 4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; радіус зони проникнення - $0,6 \text{ м}$; діаметр свердловини - $0,108 \text{ м}$;
1 – крива за $\rho_c = 2,0 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; 2 - крива за $\rho_c = 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Рисунок 2 — Криві зондування у водонасиченому колекторі з підвищеним проникненням для візейських відкладів Андріяшівського родовища



$\rho_n = 4,0 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; діаметр свердловини - $0,108 \text{ м}$; 1 - крива за $\rho_c = 2,0 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; 2 - крива за $\rho_c = 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Рисунок 3 — Криві зондування в ущільнених без проникнення пластах візейських відкладів Андріяшівського родовища

низкоомні, спостерігаємо підвищене проникнення фільтрату бурового розчину у пласт (рис. 2). Покази уявного електричного опору, заміряного великими зондами (2–8 м) для такого пласта не перевищують 3 Ом·м.

В той же час в ущільнених пластах форма кривої має вигляд, зображений на рис. 3, з якого видно, що, починаючи із зонда довжиною 0,5 м і до зондів великого розміру (8 м) виміряний уявний опір не змінюється і становить приблизно 4 Ом·м.

Результати лабораторних та свердловинних досліджень свідчать, що невеликі питомі електричні опори продуктивних порід-колекторів візейських та турнейських відкладів ДДЗ у більшості випадків зумовлені складною будовою породи-колектора, пластовим тиском і температурою, а також типом насичуючого його флюїду. Суттєвий вплив на величину електропровідності продуктивного пласта має також зона проникнення і її структура, що може бути одним із діагностичних критеріїв виділення продуктивних низкоомних пластів-колекторів. Форма фактичної кривої бокового каротажного зондування таких пластів буде визначатися глибиною проникнення в них фільтрату бурового розчину.

Узагальнення отриманих результатів експериментальних досліджень порід-колекторів візейських відкладів дало змогу поділити їх за електричними параметрами на дві окремі групи. В обидвох групах електропровідність порід суттєво пов'язана із структурою порового простору та величиною коефіцієнта пористості.

Література

- 1 Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. – М.: Недра, 1970. – 239 с.
- 2 Индутный В.Ф. Закономерности изменения петрофизических свойств девонских образований Днепровско-Донецкого рифта на больших глубинах. – К.: Наук. думка, 1980. – 160 с.
- 3 Кобранова В.Н. Петрофизика. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
- 4 Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 365 с.
- 5 Элланский М.М. Петрофизическая модель типичных терригенных отложений НТВ // Каротажник. – 2000. – Вып. 65. – С. 46-64.
- 6 Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин: Методическое пособие. – М.: Изд-во ГЕРС, 2001. – 229 с.