

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ЕЛЕКТРИЧНОГО КАРОТАЖУ ПРИ ВИВЧЕННІ НИЗЬКООМНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НА ПРИКЛАДІ МАЛОДІВИЦЬКОГО РОДОВИЩА

В.М. Курганський, К.О. Ручко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Навчально-науковий інститут “Інститут геології”, вул. Васильківська, 90, Київ 03022, Україна, cgrh@univ.kiev.ua, Pirofillon@i.ua

Дослідження нетрадиційних колекторів вуглеводнів набувають особливої актуальності у зв'язку з необхідністю розширення їх видобутку в Україні. До таких порід належать низькоомні теригенні відклади. До них тяжіють значні поклади нафти та газу, але в багатьох випадках їх пропускають, через те що питомий електричний опір порід зіставний або навіть нижчий за такий самий параметр водонасичених пластів. Низькі значення питомого електричного опору порід-колекторів ускладнюють оцінювання характеру насичення низькоомних теригенних колекторів, а також визначення положення флюїдних контактів, ефективних потужностей та коефіцієнтів нафтогазонасиченості. Тому в процесі дослідження таких колекторів особливий інтерес становить вивчення фізичної природи їх аномальної електропровідності, оскільки це потрібно для коректної інтерпретації результатів електричного каротажу свердловин. Обробку та геолого-геофізичну інтерпретацію матеріалів геофізичних досліджень у низькоомних вуглеводневих свердловинах проведено за допомогою комп'ютеризованої технології інтерпретації “Геопшук”.

Ключові слова: питомий електричний опір, характер насичення порід, низькоомні колектори.

Проблема вивчення низькоомних колекторів є одним із найважливіших наукових і практичних завдань з підвищення ефективності нафтогазопошукових робіт. Зі світової практики відомо, що продуктивні низькоомні колектори в США, Канаді, Бразилії, Індії, країнах Близького Сходу мають великі запаси вуглеводнів, які розробляють. Виділення таких нафтонасичених колекторів є одним основних етапів вивчення розкритого свердловиною розрізу.

Для виявлення нафтових пластів, оцінювання колекторських властивостей, ступеня нафтонасичення, параметрів для підрахунку запасів нафти і газу головна роль належить електричним методам каротажу. При пошуках та розвідці нафтових родовищ важливе значення має інформація про просторове розподілення електричних властивостей гірських порід. Основним електричним параметром при дослідженні є питомий електричний опір (ПЕО).

Питання щодо низькоомних колекторів висвітлено в дослідженнях як українських, так і закордонних учених – Д.Д. Федоришина, М.Д. Красножона, О.М. Карпенка, П.Ф. Дубинюка, О.М. Гуньовської, Н.А. Кондратьєвої, М.М. Еланського, І.А. Мельника, Ф.Я. Боркуна, А.Є. Єжової, О.Г. Заріпова, В.П. Сонича, В.Д. Кукурузи, К.І. Сокова, В.В. Семенова, Д.А. Кожевникова, П. Ворсингтона, М. Віллі, А. Грегорі, Р. Грима та ін. [1–3, 5, 6, 8, 9, 11]. Установлено, що значення ПЕО нафтових пластів можуть істотно відрізнятися від загально прийнятих.

В Україні низькоомні властивості порід, поширених у межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) та Передкарпатського регіону, вивчають з 1970-х років. Були розкриті низькоомні пласти-колектори, які під час випробувань дали промислові припливи нафти і газу з ПЕО 1–2 Ом·м [10].

У статті [7] зроблено такі висновки щодо літологічних особливостей низькоомних порід-колекторів:

- факторами, які зумовлюють низькоомність досліджуваних порід є тонкошаруватість, піритизація, глинистість;
- кількісна інтерпретація даних бокового каротажного зондування (БКЗ) (оцінювання питомого електричного опору $\rho_{\text{п}}$) і розрахунок параметра насичення (коефіцієнта збільшення опору $P_{\text{п}}$) для заздалегідь водо- і нафтонасичених колекторів показали, що цей головний показник визначення характеру насичення порід, на жаль, не є ефективним у певних геолого-геофізичних умовах – для водонасичених і нафтонасичених пластів його значення практично перекриваються.

Нижче подано детальний аналіз ефективності методів електричного бокового каротажу (БК), індукційного каротажу (ІК) і БКЗ для визначення ПЕО продуктивних низькоомних пластів-колекторів Малодівицького родовища (рис. 1–3).

У тектонічному відношенні Малодівицьке родовище розміщується у південній прибортовій зоні північно-західної частини ДДЗ, у південній

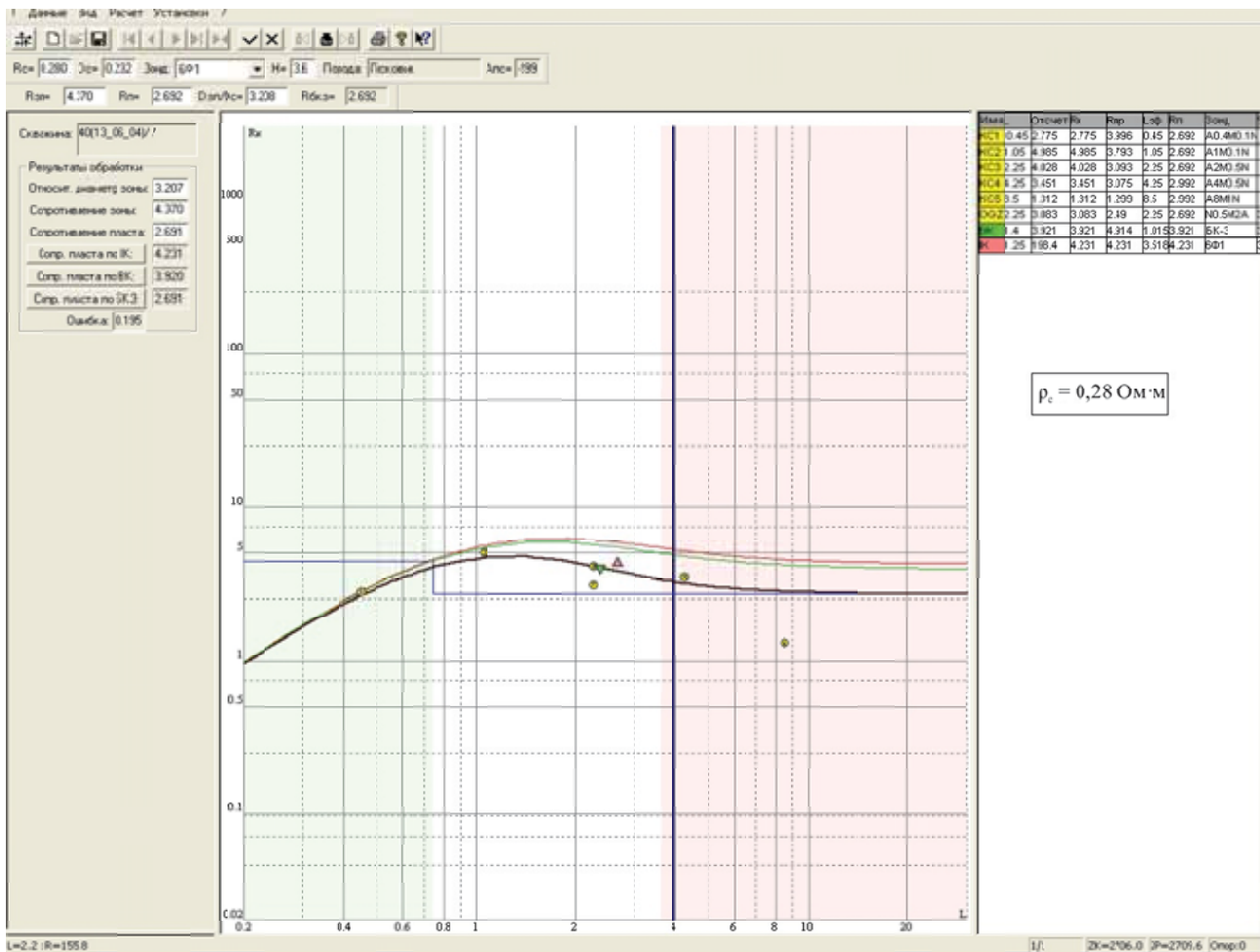


Рис. 1. Результати визначення питомого електричного опору за даними бокового каротажного зондування, індукційного каротажу, бокового каротажу для нафтонасиченого пласта в інтервалі глибин 2706,0–2709,6 м (св. 40)

Fig. 1. The results of determine the resistivity according to coring by lateral sounding, induction well logging, lateral logging (side-wall) for oil saturated reservoir in depth interval 2706,0–2709,6 m (borehole 40)

зоні розвитку антиклінальних та солянокупольних структур. У геологічній будові родовища беруть участь осадові відклади – піщано-глинисті, рідше карбонатні породи. У статті розглянуто піщано-алевролітові колектори башкирського ярусу середнього карбону. ПЕО пластових вод (ρ_v) у них становить 0,03 Ом·м.

Аналіз результатів інтерпретації даних електричного каротажу показав, що в пластах середньої та великої потужності з неглибокою зоною проникнення оцінювання ПЕО, а також параметрів зони проникнення є задовільним. Складність інтерпретації виникає в разі чергування пластів високого і низького опору малої потужності, а також за високої мінералізації бурового розчину.

Послідовність інтерпретації матеріалів електрокаротажу складається з контролю вхідної інформації; оцінювання опорів, виправлених за вплив свердловини та вмісних порід за всіма зондами, які використано під час досліджень; визначення типу проникнення промивальної рідини та параметрів зони проникнення; визначення ПЕО пласта за інформативними зондами та обчислення його

середньозваженого значення. У проникних породах наявність зон проникнення значно ускладнює інтерпретацію матеріалів електрокаротажу та істотно впливає на достовірність обумовленого значення ПЕО пласта [5]. Таким чином, установлення наявності проникнення та його типу взято за основу обробки матеріалів електрокаротажу.

Наявність проникнення фільтрату глинистого розчину в пласт визначають, порівнюючи значення ПЕО породи, отримані під час інтерпретації діаграм електричних методів з різним радіусом дослідження, тобто за зміною ПЕО породи в радіальному напрямку по нормалі до осі свердловини. При цьому за даними інтерпретації визначають наявність або відсутність радіального градієнта опору. Найпоширенішим способом установлення радіального градієнта опору є інтерпретація кривих БКЗ за способом приведених кривих [5]. Ці криві характеризують підвищене ($\rho_{zn} > \rho_n$) та понижене ($\rho_{zn} < \rho_n$) проникнення фільтрату глинистого розчину. Підвищене проникнення характерне для водонасичених колекторів, в цьому випадку ρ_{zn} істотно перевищує ρ_n , понижене – для достатньо високоомних колек-

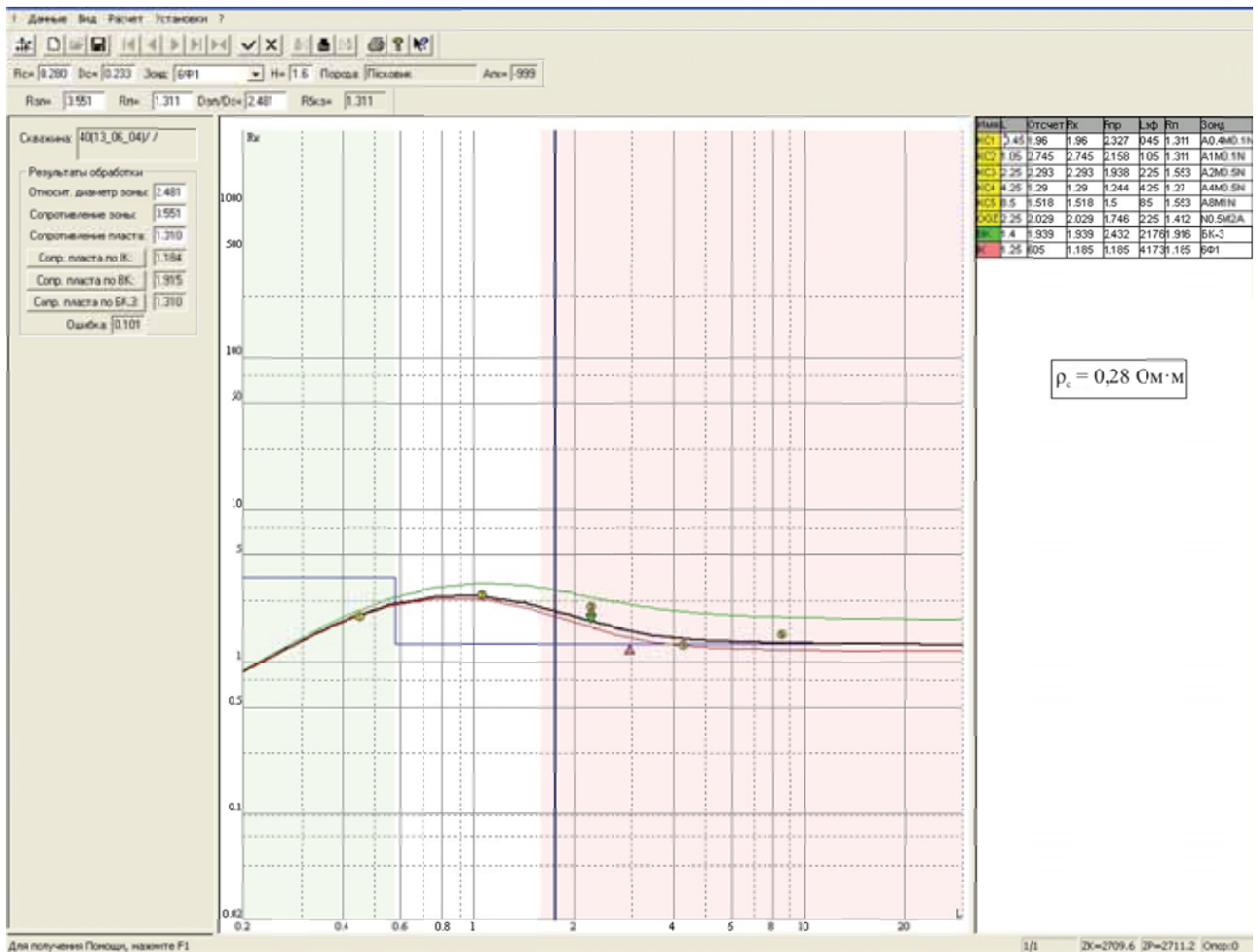


Рис. 2. Результати визначення питомого електричного опору за даними бокового каротажного зондування, індукційного каротажу, бокового каротажу для водонасиченого пласта в інтервалі глибин 2709,6–2711,2 м (св. 40)

Fig. 2. The results of determine the resistivity according to coring by lateral sounding, induction well logging, lateral logging (side-wall) for water saturated reservoir in depth interval 2709,6–2711,2 m (borehole 40)

торів з високим коефіцієнтом нафтогазонасичення ($K_{пр} > 85\%$). Проте для продуктивних пластів, які мають низькі значення ПЕО, дуже часто визначений тип проникнення фільтрату є помилковим.

За інтерпретацією кривих БКЗ на низькоомних продуктивних пластах-колекторах характер проникнення фільтрату є підвищеним, спостерігається залежність ($\rho_{зп} > \rho_{п}$), що характерно для водонесних колекторів. Фактичні криві БКЗ на продуктивних колекторах з низьким ПЕО (рис. 1) подібні за типом до кривих зондування на водонасичених пластах (рис. 2, 3), тому їх найчастіше інтерпретують однаково, як криві, що характеризують водонасичені пласти.

Отже, проаналізувавши зв'язок типів проникнення фільтрату глинистого розчину з літологопетрофізичними особливостями низькоомних порід-колекторів [7], можна дійти висновку, що підвищене проникнення характерне також для продуктивних колекторів зі значною розсіяною глинистістю і для шаруватих продуктивних колекторів, що представлені чергуванням тонких прошарків колектору та глини.

Нижче наведено приклади результатів інтерпретації даних БКЗ, БК, ІК.

На рис. 1 представлено результати інтерпретації щодо пласта пісковика потужністю 3,6 м, коефіцієнтом пористості ($K_{п}$) 19%. Зіставлення ПЕО порід, визначених за даними методів ІК і БК з ПЕО, визначеним за даними БКЗ, показало перевищення опору за даними ІК ($\rho_{п}^{ІК} = 4,2$ Ом·м) та БК ($\rho_{п}^{БК} = 3,9$ Ом·м) над опором за даними БКЗ ($\rho_{п}^{БКЗ} = 2,7$ Ом·м). Характеристика пласта за даними БКЗ: $d_c = 0,233$ м; $\rho_c = 0,28$ Ом·м; $D_{зп}/d_c = 3,2$; опір зони проникнення ($\rho_{зп}$) – 4,4 Ом·м; опір пласта ($\rho_{п}$) – 2,7 Ом·м. За результатами випробування пласт насичений нафтою.

На рис. 2 представлено результати інтерпретації щодо пласта пісковика потужністю 1,6 м з $K_{п} = 20\%$. Дані ІК ($\rho_{п}^{ІК} = 1,2$ Ом·м) близькі до даних БКЗ ($\rho_{п}^{БКЗ} = 1,3$ Ом·м). Опір, визначений за даними БК ($\rho_{п}^{БК} = 1,9$ Ом·м) трохи вищий. Характеристика пласта за даними БКЗ: $d_c = 0,233$ м; $\rho_c = 0,28$ Ом·м; $D_{зп}/d_c = 2,5$; опір зони проникнення ($\rho_{зп}$) – 3,6 Ом·м; опір пласта ($\rho_{п}$) – 1,3 Ом·м. Пласт є водонесним, що підтверджується даними випробування.

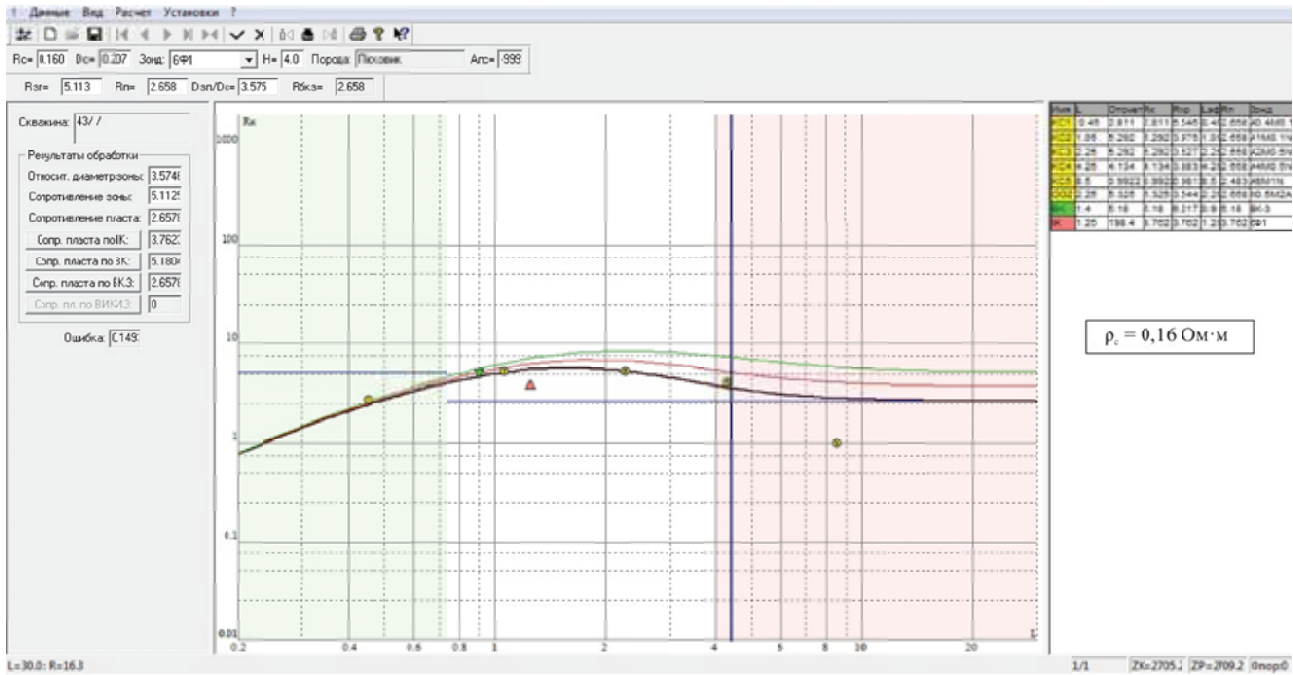


Рис. 3. Результати визначення питомого електричного опору за даними бокового каротажного зондування, індукційного каротажу, бокового каротажу для водонасиченого пласта в інтервалі глибин 2705,2–2709,2 м (св. 43)

Fig. 3. The results of determine the resistivity according to coring by lateral sounding, induction well logging, lateral logging (side-wall) for water saturated reservoir in depth interval 2705,2–2709,2 m (borehole 43)

На рис. 3 представлено результати інтерпретації щодо пласта пісковику потужністю 2 м, $K_n = 13\%$. За даними ІК ($\rho_n^{IK} = 3,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) і БК ($\rho_n^{BK} = 5,2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) опір перевищує опір за даними БКЗ ($\rho_n^{BK3} = 2,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Характеристика пласта за даними БКЗ: $d_c = 0,207 \text{ м}$; $\rho_c = 0,16 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $D_{30}/d_c = 3,6$; опір зони проникнення ($\rho_{зп}$) – $5,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; опір пласта (ρ_n) – $2,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. За даними випробування пласт є водоносним.

Зіставлення ПЕО порід, визначеного за даними методів ІК і БК, з ПЕО, визначеним за даними БКЗ на водоносних пластах, показало, що дані інтерпретації методів ІК і БКЗ близькі за значеннями, тобто у досліджуваному розрізі вони вимірюють ПЕО порід за зоною проникнення фільтрату. ПЕО порід, визначений за даними БК, більший за ПЕО, встановлений за методами ІК та БКЗ, і відповідає ПЕО в зоні проникнення.

Для продуктивних колекторів встановлено перевищення електричного опору за методами ІК і БК над опором за методом БКЗ. Отже, можна зробити висновок, що зонди ІК і БК у продуктивних колекторах відображують опір порід у зоні проникнення, а дані, отримані за методом БКЗ, визначають ПЕО досліджуваного пласта.

Як видно, на практиці може виникнути не правильне уявлення про характер зміни ПЕО в радіальному напрямку та формування типу зони проникнення.

Наявність зони проникнення – важлива сприятлива умова для насичення порід вуглеводнями, але за низьких ПЕО досліджуваних порід розділити колектори на продуктивні та водоносні за

даними електрометрії без додаткових відомостей (дані випробувань та ін.) однозначно неможливо.

Отже, у складних геоелектричних умовах (перевага пластів середньої та малої потужності, чергування пластів з високим і низьким опором, висока мінералізація бурового розчину, наявність низькоомних продуктивних колекторів та ін.) потрібно використовувати комплекс додаткових методів, що дасть змогу підвищити достовірність визначення характеру насичення пласта. Як свідчить практика використання імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу (ІННК) [4], за цим методом можна незалежно визначити характер насичення та величину коефіцієнта нафтонасичення таких розрізів і, таким чином, позбавитись неоднозначності оцінювання. Неоднозначність інтерпретації у складних геолого-технічних умовах створює передумови для застосування нейтронних методів. Із збільшенням мінералізації пластових вод і глинистості пластів переваги набувають імпульсні нейтрон-нейтронні методи. Фільтрат бурового розчину та пластові води за нейтронними властивостями відрізняються від нафти, тому за зміною показань імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу можна відділити продуктивні пласти від водоносних.

Висновки. Згідно з результатами інтерпретації даних БКЗ, БК, ІК криві на рис. 1–3 за типом подібні до двохшарових, хоча в пластах, яким відповідають ці криві, формується зона підвищеної проникності. Таким чином, нафтонасичені і водонасичені колектори Малодівичького родовища мають підвищену проникність ($\rho_c > \rho_b$,

$\rho_{зп} > \rho_{п}$), що ускладнює виділення та подальше вивчення нафтонасичених пластів.

Мала потужність пластів і неможливість достовірного визначення питомого електричного опору пласта за глибоких зон проникнення створюють великі труднощі під час визначення характеру насичення та коефіцієнта нафтогазонасичення. Тому в процесі вивчення низькоомних порід-колекторів для більш однозначного вирішення завдання класифікації “нафта–вода” та оцінювання коефіцієнта нафтонасичення рекомендується використовувати результати інтерпретації інших методів геофізичного дослідження свердловин, а саме часові заміри за методом ІННК [4], що дає змогу не тільки виділити породи-колектори, а й визначити характер пластового флюїду.

1. Вендельштейн Б.Ю. О связи между параметром пористости, коэффициентом поверхностной проводимости, диффузионно-адсорбционными свойствами терригенных пород / Б.Ю. Вендельштейн // Труды МИНХ и ГП. – М. : Гостоптехиздат, 1960. – № 31. – С. 16–30.
2. Кнеллер Л.Е. Электрические, электромагнитные методы и программное обеспечение определения сопротивлений на основе моделирования / Л.Е. Кнеллер, А.П. Потапов // Каротажник. – 2006. – № 7–8. – С. 160–172.
3. Кобранова В.Н. Петрофизика: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
4. Кожевников Д.А. Нейтронные характеристики горных пород и их использование в нефтепромысловой геологии. – 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1982. – 221 с.
5. Красножон М.Д. Комп’ютеризована технологія інтерпретації матеріалів електричного каротажу / М.Д. Красножон // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. – К.: [б. в.], 2001. – С. 5–18.
6. Кукуруза В.Д. Геоэлектрические факторы в процессах формирования нефтегазоносности недр: монография / В.Д. Кукуруза. – К. : [б.и.], 2003. – 416 с.
7. Курганський В.М. Літолого-петрофізичні особливості низькоомних колекторів Прилуцького нафтового родовища / В.М. Курганський, К.О. Ручко // Мінеральні ресурси України. – 2014. – № 4. – С. 20–25.
8. Никифорова О.Г. Оценка удельного сопротивления и характера насыщенности низкоомных терригенных коллекторов по данным ГИС / О.Г. Никифорова // Геофизика. – 2008. – № 1. – С. 22–24.
9. О некоторых причинах низкого сопротивления продуктивных коллекторов / Х.И. Шакаров, Л.А. Султанов, Р.В. Кязимов [и др.] // Каротажник. – 2007. – № 12. – С. 47.
10. Федоришин Д.Д. До питання причин мінливості електричних порід-колекторів нафтогазових родовищ України / Д.Д. Федоришин, О.А. Гаранін, С.Д. Федоришин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 1. – С. 86–88.
11. Worthington P. Recognition and evaluation of low-resistivity pay / P. Worthington // Petroleum Geoscience. – 2000. – V. 6, No. 1. – P. 77–92.

Надійшла до редакції 07.09.2015 р.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ЕЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ ІЗУЧЕННІ НІЗЬКООМНИХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ МАЛОДЕВИЦЬКОГО МЕСТОРОЖДЕННЯ

В.Н. Курганський, Е.О. Ручко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Учебно-научний інститут

“Інститут геології”, ул. Васильківська, 90, Київ 03022, Україна, cgph@univ.kiev.ua, Pirofillon@i.ua

Исследования нетрадиционных коллекторов углеводородов приобретают особую актуальность в связи с необходимостью расширения их добычи в Украине. К таким породам относятся низкоомные терригенные отложения. К ним приурочены значительные залежи нефти и газа, но во многих случаях их пропускают, поскольку удельное электрическое сопротивление залежей сопоставимо или даже ниже аналогичного параметра водонасыщенных пластов. Низкие значения удельного электрического сопротивления пород-коллекторов затрудняют оценку характера насыщения низкоомных терригенных коллекторов, а также определение положения флюидных контактов, эффективных мощностей и коэффициентов нефтегазонасыщенности. Поэтому при исследовании таких коллекторов особый интерес вызывает изучение физической природы их аномальной электропроводности, что необходимо для корректной интерпретации результатов электрического каротажа скважин. Обработка и геолого-геофизическая интерпретация материалов геофизических исследований в низкоомных углеводородных скважинах проводились с помощью компьютеризированной технологии интерпретации “Геопошук”.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, характер насыщения пород, низкоомные коллекторы.

ANALYSIS OF ELECTRICAL LOGGING DATA INTERPRETATION IN THE STUDY OF LOW-RESERVOIR ROCKS FOR EXAMPLE MALODIVYTSKOHO DEPOSIT

V.M. Kurhanskyy, K.O. Ruchko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv 03022, Ukraine, cgph@univ.kiev.ua, Pirofillon@i.ua

Purpose. The subject matter of the research is low resistance reservoirs from which, based on the test results, flows of oil were received an example being terrigenous sediments in the Dnieper-Donets basin, namely, Malodivyske oil field. The goal of the research is to analyses electrical logging data interpretation in the low-reservoir investigation.

Design/methodology/approach. The method of the research is collection, processing and interpretation of well survey research data with the help of the "Geopoisk" system. Complex electrical methods interpretation improves the accuracy and unambiguity of assessing resistance layers and penetration zones.

Findings. Geologists are often faced with anomalous low resistivity, which lead to incorrect determination of the degree of saturation and oil-saturation capacity in determining the nature of saturation and composition reservoir fluids at well-logging in productive sediments. In determining the nature of well saturation, wells are interpreted as water-saturated under the geophysical wells research. However, the test gave many examples of low-resistance layers producing tides of anhydrous oil.

Practical value/implications. We have analyzed electrical logging data interpretation in the productive reservoir and suggested a method to determine the nature of collectors saturation. We propose to use pulsed neutron-neutron logging method (PNNLM) to improve the efficiency of locating rocks, which can be collectors in low geological capacity section, and of determining the nature of saturation.

Keywords: electrical resistivity, the nature of saturation, low-resistivity reservoirs.

References:

1. Vendel'shteyn B.Yu. O svyazi mezhdou parametrom poristosti, koeffitsiyentom poverkhnostnoy provodimosti, diffuzionnogo-adsorbtsionnymi svoystvami terrigennykh porod. *Trudy MINKh i GP*. Moscow, Gostoptekhizdat, 1960, no. 31, pp. 16-30 (in Russian).
2. Kneller L.Ye., Potapov A.P. Elektricheskiye, elektromagnitnyye metody i programmnoye obespecheniye opredeleniya soprotivleniy na osnove modelirovaniya. *Karotazhnik*, 2006, no. 7-8, pp. 160-172 (in Russian).
3. Kobranova V.N. Petrofizika. Uchebnik dlja vuzov. Moscow, Nedra, 1986, 392 p. (in Russian).
4. Kozhevnikov D.A. Neytronnyye kharakteristiki gornyykh porod i ikh ispol'zovaniye v neftepromyslovoy geologii. Moscow, Nedra, 1982, 221 p. (in Russian).
5. Krasnozhon M.D. Kompiuteryzovana tekhnolohiia interpretatsii materialiv elektrychnoho karotazhu. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho heolohorozviduvalnoho instytutu*. Kyiv, 2001, pp. 5-18 (in Ukrainian).
6. Kukuza V.D. Geoelektricheskiye faktory v protsessakh formirovaniya neftegazonosnosti nedr. Kyiv, 2003, 416 p. (in Russian).
7. Kurgansky V.M., Ruchko K.O. Lithologic and petrophysical characteristics of low-resistivity reservoirs of priluky oil field. *Mineralni resursy Ukrainy*, 2014, no. 4, pp. 20-25 (in Ukrainian).
8. Nikiforova O.G. Saturation characteristics and formation resistivity estimates in low-resistance terrigenous reservoirs using well logging data. *Geophysics*, 2008, no. 1, pp. 22-24 (in Russian).
9. Shakarov H.I., Sultanov L.A., Kjazimov R.V., Ganife-Zade Ch.D., Abdullaev A.I. O nekotorykh prichinah nizkogo soprotivlenija produktivnykh kollektorov. *Karotazhnik*, 2007, no. 12, pp. 47 (in Russian).
10. Fedorishin D.D., Garanin O.A., Fedorishin S.D. Do pytannia prychnyn minlyvosti elektrychnykh porid-kolektoriv naftohazovykh rodovyshch Ukrainy. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 2008, no. 1, pp. 86-88 (in Ukrainian).
11. Worthington P. Recognition and evaluation of low-resistivity pay. *Petroleum Geoscience*, March 2000, vol. 6, no. 1, pp. 77-92.

Received 07/09/2015