



УДК: [553.98:552.1:53:550.822.3] (575.172)

Лейла ШАРАФУТДИНОВА,

Начальник отдела «Отдела контроля качества образования» Университета геологических наук

E-mail: shleyla1980@gmail.com

Анвар МУМИНОВ,

Доцент кафедры геологии нефти и газа Университета геологических наук

E-mail: gafur@mail.ru

Лейла ГАНИЕВА,

Инженер лаборатории «Геофизики» Института геологии и разведки месторождений нефти и газа

E-mail: laylo15@bk.ru

По отзыву Евсеевой Г.Б., заведующей лабораторией «Строительная физика» «Института геологии и разведки месторождений нефти и газа», к.т.н.

PETROPHYSICAL ANALYSIS AND BINDING OF CORE DATA TO GIS MATERIALS – IN ORDER TO SUBSTANTIATE THE CALCULATION PARAMETERS (ON THE EXAMPLE OF THE ARSLAN DEPOSIT)

Annotation

The article describes the results of a complex of laboratory core studies, which provide for a multi-scale study of elastic properties, microstructure of rocks, composition and their filtration-capacitance properties. The possibilities of operational determination of the main filtration-capacitance properties of terrigenous reservoir rocks of the Arslan deposit are shown.

Keywords: Laboratory core studies, petrophysical properties, elastic wave velocities, reservoir conditions, boundary values.

PETROFIZIK TAHLIL VA ASOSIY MA'LUMOTLARNI GIS MATERIALLARIGA BOG'LASH-HISOBLASH PARAMETRLARINI ASOSLASH UCHUN – ARSLON KONI MISOLIDA)

Annotatsiya

Maqolada jinslarning elastik xususiyatlari, tog' jinslarining mikrotuzilishi, tarkibi va ularning filtrlash-sig'im xususiyatlarini o'rganishni ta'minlaydigan laboratoriya kern tadqiqotlari majmuasi natijalari keltirilgan. Arslan konining terrigen kollektor jinslarining asosiy filtratsiya-sig'im xususiyatlarini tezkor aniqlash imkoniyatlari ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: Laboratoriya kern tadqiqotlari, petrofizik xususiyatlar, elastik to'liq tezligi, qatlam sharoiti, chegaraviy qiymatlar.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРИВЯЗКА ДАННЫХ ПО КЕРНУ К МАТЕРИАЛАМ ГИС – С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АРСЛАН)

Аннотация

В статье описаны результаты комплекса лабораторных исследований керна, которые предусматривают разномасштабное изучение упругих свойств, микроструктуры пород, состава и их фильтрационно-емкостных свойств. Показаны возможности оперативного определения основных фильтрационно-емкостных свойств терригенных пород коллекторов месторождения Арслан.

Ключевые слова: Лабораторные исследования керна, петрофизические свойства, скорости упругих волн, пластовые условия, граничные значения.

Введение. Начиная с 30 -х годов прошлого века, параллельно развитию геофизических методов исследования скважин (ГИС), интенсивно формировалась новая геологическая наука о горной породе и ее свойствах, как основа количественной интерпретации скважинных измерений. Термин «Петрофизика» закрепился за ней в 1960-е годы после того, как были обобщены многочисленные накопленные данные исследований керна [1,4,5]. До начала 80-х годов прошлого столетия эта наука, развивалась очень стремительно. Были получены фундаментальные знания, положенные в основы разработки современных методов ГИС и их интерпретации [2,3].

С помощью связей «кern-кern», «кern-ГИС», «ГИС-ГИС», полученных на основе петрофизической информации, проводится интерпретация данных ГИС, то есть получение на основе измеренных геофизических параметров информации о минеральном составе, пористости, насыщенности пород [1,3].

Литературный обзор. Структура Арслан выявлена в 2013 году сейсморазведкой МОГТ-3Д и подготовлена под глубокое поисковое бурение в 2014 году по двум отражающим горизонтам, приуроченным к внутри и низам среднеюрских отложений и в том же году начато бурение поисковой скважины №1, при опробовании которой в 2015 году получены промышленные притоки газа из нижне- и среднеюрских отложений.

В тектоническом отношении месторождение Арслан расположено в восточной части Судочего прогиба, который простирается субмеридионально, от Центрально-Устьюртской системы дислокаций на юге до Актумсукской системы дислокаций на севере. На западе он граничит с Куаныш-Коскалинским валом, который ограничивает его на западной стороне. На востоке прогиб ограничен Арало-Кызылкумским разломом, который служит восточной границей прогиба.

По кровле пласта J₂¹¹ структура Арслан представляет собой антиклинальную складку, которая с востока ограничена тектоническим нарушением. Размеры структуры по изогипсе «-2440 м» составляют: длина 4,1 км, ширина

3,05 км, высота 60 м. С глубиной строение ловушки, в целом, не меняется. Размеры структуры по изогипсе «-3382 м» составляют: длина 4,2 км, ширина 3,2 км, высота более 100 м.

На месторождении Арслан промышленная газоносность установлена в отложениях нижнеюрского (J_1) и среднеюрского (J_2) возрастов. Дебиты газа изменяются от 33,36 тыс.м³/сут. через 7 мм штуцер до 799,56 тыс.м³/сут. через 19 мм штуцер.

Пластовые воды юрского водоносного комплекса представлены седиментагенными и инфильтрогенными высоко метаморфизованными рассолами хлоркальциевого типа, хлоридной группы, натриевой подгруппы. Минерализация изменяется в пределах 41,32 - 188,7 г/л, плотность 1,022 - 1,117 г/см³, рН = 4,5 - 7,0. Содержание (г/л): натрия и калия 15,678 - 61,974; кальция 0,309 - 11,262; магния 0,128 - 3,548; хлора 24,787 - 108,423; сульфатов 0,026 - 0,602; гидрокарбонатов 0,061 - 0,528. Из микрокомпонентов обнаружены в промышленных концентрациях йод до 23,1 мг/л, бром до 403,7 г/л. [2]

Методика исследований. В работе исследования по повышению точности определения подсчетных параметров пород-коллекторов проводились путем сопоставления значений физических свойств образцов, полученных лабораторными методами и методами ГИС, т.е. строились зависимости «керна-ГИС» [6].

В результате обработки данных были получены количественные значения для следующих параметров: коэффициент глинистости, коэффициент пористости и коэффициент газонасыщенности коллекторов [7].

Была выполнена комплексная интерпретация данных геофизических исследований в скважинах №4, 5 и 8, поскольку эти скважины обладали наиболее полной информацией, полученной из керновых данных. Выбор скважин для комплексной интерпретации основан на доступности керновых данных в этих скважинах, что обеспечивает более полное понимание литологического состава и физических свойств пород-коллекторов в исследуемом месторождении Арслан. Определены следующие петрофизические параметры пород: плотность ρ_o – объемная; ρ_m – минералогическая; коэффициент открытой пористости k_p ; коэффициент общей пористости k_{op} ; коэффициент абсолютной проницаемости по газу (азоту) $k_{пр}$; коэффициент остаточной водонасыщенности $k_{ов}$; удельное электрическое сопротивление при 100% рвп и частично водонасыщенной породы $r_{внг}$, скорость распространения продольных волн V_p , интервальное время пробега продольной волны ΔT_p . [8,9,10].

Результаты. Анализ геолого-геофизической информации показывает, что флюидовмещающими породами в природном резервуаре месторождения служат отложения, представленные переслаиванием глин, алевролитов и песчаников. Выявленные залежи имеют достаточно сложное геологическое строение, а залежи относятся к типу литологически экранированных, ограниченные с северо-востока и юго-запада тектоническим нарушением.

Из анализа и обобщения результатов лабораторного исследования литолого-физических свойств образцов керна можно сделать следующие выводы:

В продуктивных горизонтах минеральный состав пород в основном состоит из терригенных компонентов, которые составляют от 88% до 98% общей массы породы. Примесь кальцита составляет не более 2-12%.

Распределение коэффициента открытой пористости для пород нижней и средней юры варьируется от 1,1 – 13,1 % с максимумом на интервале 5%-10%, а средняя пористость равна 7,94% (рисунок 1). Характер гистограммы изменения близок к нормальному.



Рисунок 1. Гистограмма распределения коэффициента пористости песчано-алевритовых пород средней и нижней юры

Распределение коэффициента проницаемости для пород средней и нижней юры варьируется от 0,001 – 112,5 10^{-3} мкм² с максимумом на интервале 0,01-0,1 10^{-3} мкм², а средняя проницаемость равна 5,21 10^{-3} мкм² (рисунок 2).

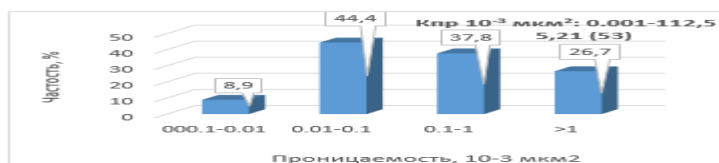


Рисунок 2. Гистограмма распределения коэффициента проницаемости песчано-алевритовых пород средней и нижней юры

Распределение коэффициента остаточной водонасыщенности для пород средней и нижней юры варьируется от 58,5 – 92,6% с максимумом на интервале 70-80%, средняя водонасыщенность равна 72,06% (рисунок 3).

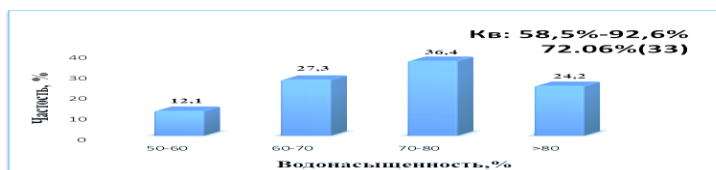


Рисунок 3. Гистограмма распределения коэффициента остаточной водонасыщенности песчано-алевритовых пород средней и нижней юры

Согласно классификации А.А. Ханина, породы песчано-алевролитовых формаций на месторождении Арслан проявляют существенную неоднородность в отношении коэффициентов пористости, газопроницаемости и водонасыщенности. В соответствии с этой классификацией, эти породы отнесены к IV классу по пористости и V классу по проницаемости в качестве поровых коллекторов.

Для установления нижней границы коллекторов по коэффициенту открытой пористости k_p использовали графо-аналитический метод, основанный на построении интегральной функции распределения значений данного параметра по интервалам, относимым к коллекторам и неколлекторам (рис.4). Абсцисса точки пересечения кумулятивных кривых коллекторов и неколлекторов соответствует значению 8,0%, что соответствует граничному значению пористости.

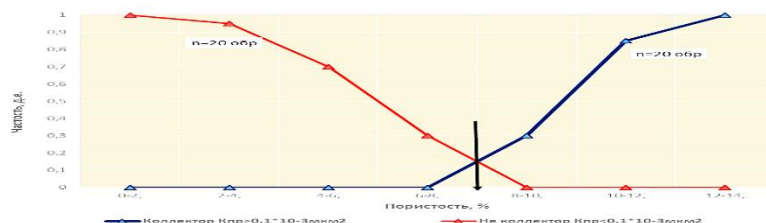


Рисунок 4. Сопоставление кумулятивных кривых распределения коллекторов и неколлекторов по коэффициенту пористости (для газовых коллекторов)

Для обоснования граничных значений коэффициента остаточной водонасыщенности $k_{ов.гр.}$ можно воспользоваться корреляционной зависимостью $k_p = f(k_{ов})$. Результаты сопоставления значений пористости и водонасыщенности с целью выявления зависимости $k_p = f(k_{ов})$ для песчано-алевритовых пород месторождения Арслан приведены на рис. 5.



Рисунок 5. Зависимость $k_{ов} = f(k_p)$ коэффициента остаточной водонасыщенности от коэффициента открытой пористости для терригенных пород средней и нижней юры.

Граничное значение коэффициента остаточной водонасыщенности, на основе анализа выявленной зависимости, в численном выражении имеет вид: $k_{ов} = 94,31 - 2,29k_p$, $R^2 = 0,95$, равно $k_{ов.гр} = 76\%$ при $k_p = 8,0\%$.

Для выявления корреляционной связи между коэффициентом открытой пористости k_p и объемной плотностью δ_p использованы 92 образца песчано-алевритовых пород. Корреляционная связь типа «кern-кern» используемая для количественной интерпретации результатов гамма-гамма каротажа представлена на рис.6.



Рисунок 6. Связь объемной плотности от коэффициента открытой пористости

Выявленная корреляционная зависимость между этими петрофизическими параметрами носит линейный характер и в количественном выражении описывается уравнением $\delta_p = 2,68 - 0,02 \cdot k_p$. Согласно рис.6. коллекторами являются все породы, объемная плотность которых меньше $2,47 \text{ г/см}^3$.

Таким образом граничные значения ФЕС песчано-алевритовых коллекторов нижней юры имеют следующие значения:

Газовый коллектор: $k_{п.гр} - 8,0\%$; $k_{п.гр} 0,1 \times 10^{-3} \text{ мкм}^2$; $k_{ов.гр} - 76,0\%$.

Связь между параметром пористости и коэффициентом открытой пористости при нормальных атмосферных условиях описывается математическим уравнением $P_p = 1/k_p^{1,80}$ и имеет высокий коэффициент корреляции $R^2 = 0,98$, что говорит о существенной зависимости между этими двумя петрофизическими параметрами. Значение структурного показателя m , равное $1,80$, часто наблюдается в случае средне сцементированных терригенных пород с пористостью трещинно-порового типа.

Кроме того, полученные результаты позволили определить зависимость коэффициента увеличения сопротивления (параметра насыщения) от водонасыщенности породы: $P_n = 1/k_{ов}^{1,74}$, где P_n - коэффициент увеличения сопротивления, $k_{ов}$ - коэффициент остаточной водонасыщенности.

Значение коэффициента корреляции $R^2 = 0.86$ говорит о сильной связи между этими двумя параметрами. Показатель n в эмпирической зависимости, равный **1,74**, указывает на тип породы и характеристику их пористости. Для трещинно-поровых гидрофильных терригенных пород такое значение показателя n является типичным.

Скорости продольных волн в песчаниках, когда они полностью насыщены 10% раствором NaCl, варьируются от 3175 до 5139 м/с. Временные интервалы, соответствующие этим скоростям, составляют от 195 до 315 миллисекунд. Эмпирическая зависимость между изменением времени и коэффициентом открытой пористости для изучаемых терригенных пород: $\Delta T_p = 9,72 * k_p + 183$. Коэффициент корреляции для этой зависимости составляет $R^2 = 0,98$, что говорит о хорошей степени соответствия между изменением коэффициента открытой пористости и интервальным временем. При значении коэффициента открытой пористости равном 0, интервальное время в твердой фазе (скелете) терригенной породы составляет **183 мкс**.

Выводы и рекомендации. Полученные результаты будут полезны при дальнейшей интерпретации данных ГИС и оценке свойств пород-коллекторов, а также при подсчете запасов месторождений УВ на данной территории. . Выполнение дополнительных исследований, таких как ЯМР, ВАК и ГГКп, определение фазовой проницаемости, может быть полезным для дальнейшего уточнения петрофизической модели и оценки свойств породы, а также является важным шагом для более полной и точной интерпретации данных в исследуемых скважинах

ЛИТЕРАТУРА

1. Петерсилье В.И., Пороскуна В.И., Яценко Г.Г. / Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. – М.: Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003, 262 с.
2. Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин / – Москва: РГУ НГ, 2001г.
3. Гурбатова И. П., Мелехин С. В., Юрьев А.В. Особенности изучения петрофизических и упругих свойств керна в сложнопостроенных коллекторах нефти и газа при моделировании термобарических пластовых условий / // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 5. – С. 67–72.
4. Петрофизика : учеб. для вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников; под ред. док. физ.-мат. наук Д. А. Кожевникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : «Нефть и газ», 2004. – 368 с.
5. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Тиаб Дж., Доналдсон Эрл Ч. // Перевод с английского. - М.: ООО «Премиум-Инжиниринг». 2009. - С. 868.
6. Котяхов Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов / Ф.И. Котяхов. - М.: Недра, 1977. -С. 287.
7. ГОСТ 26450.1-85 Породы горные. Методы определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением.
8. ОСТ 41-03-219-83 Горная порода-коллектор. Методика определения удельного электрического сопротивления образцов горных пород-коллекторов нефти и газа.
9. Михайлов Н.Н. Физика нефтяного и газового пласта / Н.Н. Михайлов - М: МАКС ПРЕСС, 2008, - С. 447.
10. МакФи К. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам/МакФи К., Рид Дж., Зубизаретта И. //Перевод с английского. - М.- Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. -С. 912.