

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШИРОТНОГО ПРИОБЬЯ

Автор: Р.У. Исянгулов, Д.Н. Крючатов

Проведен анализ эффективности применения импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) для оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов на примере Юрских отложений одного из месторождений Широного Приобья. Оценка сделана на основе сравнения серии замеров ИННК, данных исследования керна и ядерно-магнитного каротажа (ЯМК).

Введение

Одной из главных задач, решаемых современными методами ГИС, является оценка ФЕС изучаемых горных пород. Проницаемость в этом ряду является одной из важных свойств. Достоверная информация данного параметра позволяет определять эффективную мощность коллектора, прогнозировать продуктивность скважины в частности и месторождения в целом. В то же время существует сложность оценки проницаемости по данным ГИС. Это связано со слабой чувствительностью методов к структуре порового пространства горных пород. Вместе с пористостью она контролирует проницаемость горных пород и включает в себя упаковку, размер, сортировку и степень цементации зерен, а также степень извилистости, сообщаемости, диаметр каналов и т.д.

Из наиболее распространённых подходов для оценки проницаемости является использование связи $K_{пр} = f(KП)$ [3]. Однако, коэффициент корреляции данной связи имеет низкие значения. Так, по результатам керновых данных базовой скважины рассматриваемого месторождения коэффициент корреляции в коллекторах Юрских отложений составил 0.65 (рис.1).

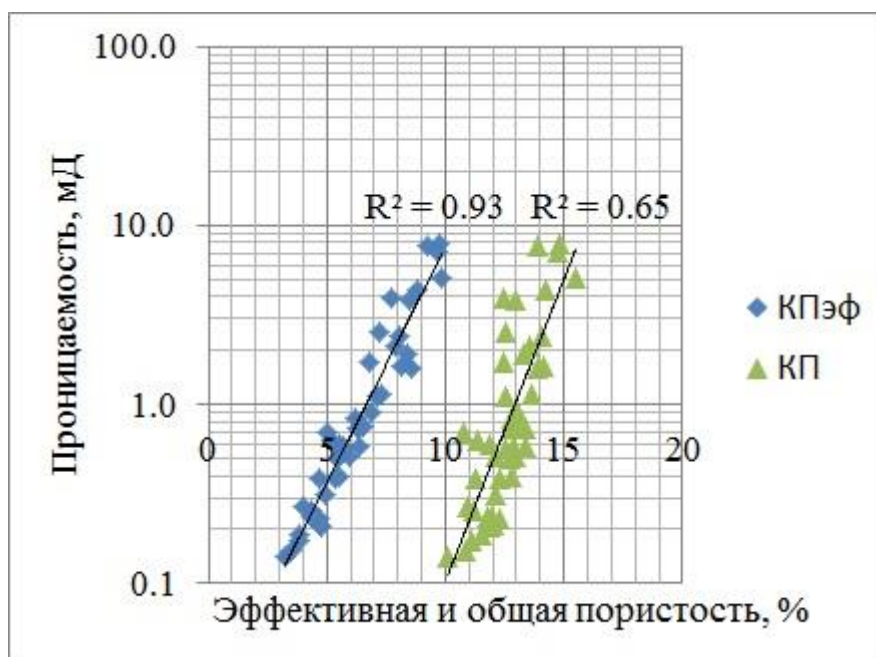


Рис. 1. Связь проницаемости с пористостью рассматриваемых отложений.

Популярностью пользуется подход с применением обобщенной формулы Тимура [1]. Результаты применения данного подхода позволяют улучшить сходимость прогнозных и фактических значений проницаемости. Однако, это достижимо только при наличии надежной связи остаточной водонасыщенности (КВо) от геофизических параметров.

Из специальных методов ГИС для прогноза проницаемости широкое распространение получил ЯМК. Достоинством данного метода является отсутствие чувствительности к минералогическому составу изучаемых пород.

Одним из перспективных методов для оценки проницаемости является ИННК [2]. Результатом инверсии данного метода является эффективная пористость КПэф. Связь данного параметра с проницаемостью (рис. 1) и остаточной водонасыщенностью (рис. 2) значительно более тесная.

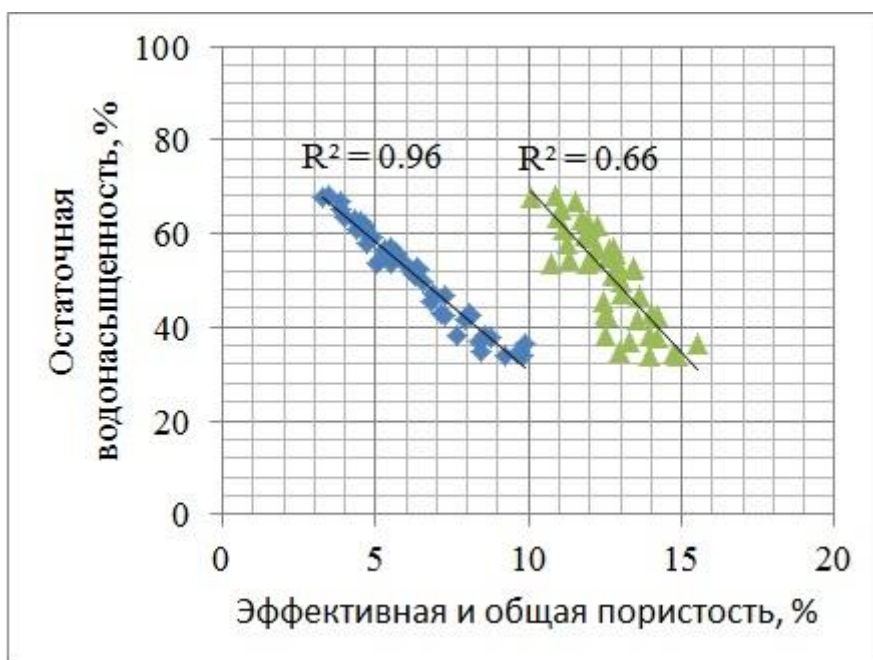


Рис. 2. Связь остаточной водонасыщенности с пористостью рассматриваемых отложений.

Целью настоящей работы является оценка возможности применения ИННК в необсаженном и обсаженном стволах для прогноза проницаемости в условиях терригенных отложений Широтного Приобья.

Практические результаты исследования

Рассматриваемые отложения представляют собой типичные для Западной Сибири кварц-палевошпатовые песчаники с низкими ФЕС.

На первом этапе проведено сравнение данных ИННК необсаженного ствола, ЯМК и керна (рис. 3).

В первых трех треках представлены данные стандартных методов ГИС. В треке 4 отображены данные ИННК прибором ПИЛК-76 ООО «НПП-Энергия» в необсаженном стволе скважины: макросечение захвата тепловых нейтронов (Σ_a) и нейтронная пористость (водородосодержание). Дополнительно приведено макросечение захвата,

рассчитанное по данным рентгенно-структурного анализа (РСА) керна [5] (черные точки). Сечение захвата по керну существенно отличается от каротажной кривой. Объяснением данного несоответствия, очевидно, связано с отсутствием измерений рассеянных минералов (напр. бор, гадолиний) в стандартном исследовании РСА. Данные элементы, обладая аномальным сечением захвата нейтронов, способны существенно увеличить Σ_a [4].

В треке 5 представлены данные КПэф, полученные по данным ИННК и ЯМК. Отмечается хорошее совпадение данных двух методов.

В треке 6 представлено сравнение проницаемости по данным ИННК и керна, причем проницаемость по ИННК рассчитана двумя способами. Первая является базовой и основывается на модифицированной формуле Тимура-Коатса, полученной при обобщении Меловых и Юрских отложений Западной Сибири. Вторая – на основе связи $K_{пр} = f(KПэф)$, полученной по данным другой керновой скважины рассматриваемого месторождения (рис. 1). Обе проницаемости хорошо согласуются с данными керна.

В треке 7 проведено аналогичное сравнение проницаемости с керном. Проницаемость по данным ЯМК также рассчитана двумя способами: Тимура-Коатса и среднелогарифмическому времени спектра. Учитывая различные разрешения ЯМК и керна, данные имеют хорошую сходимость.

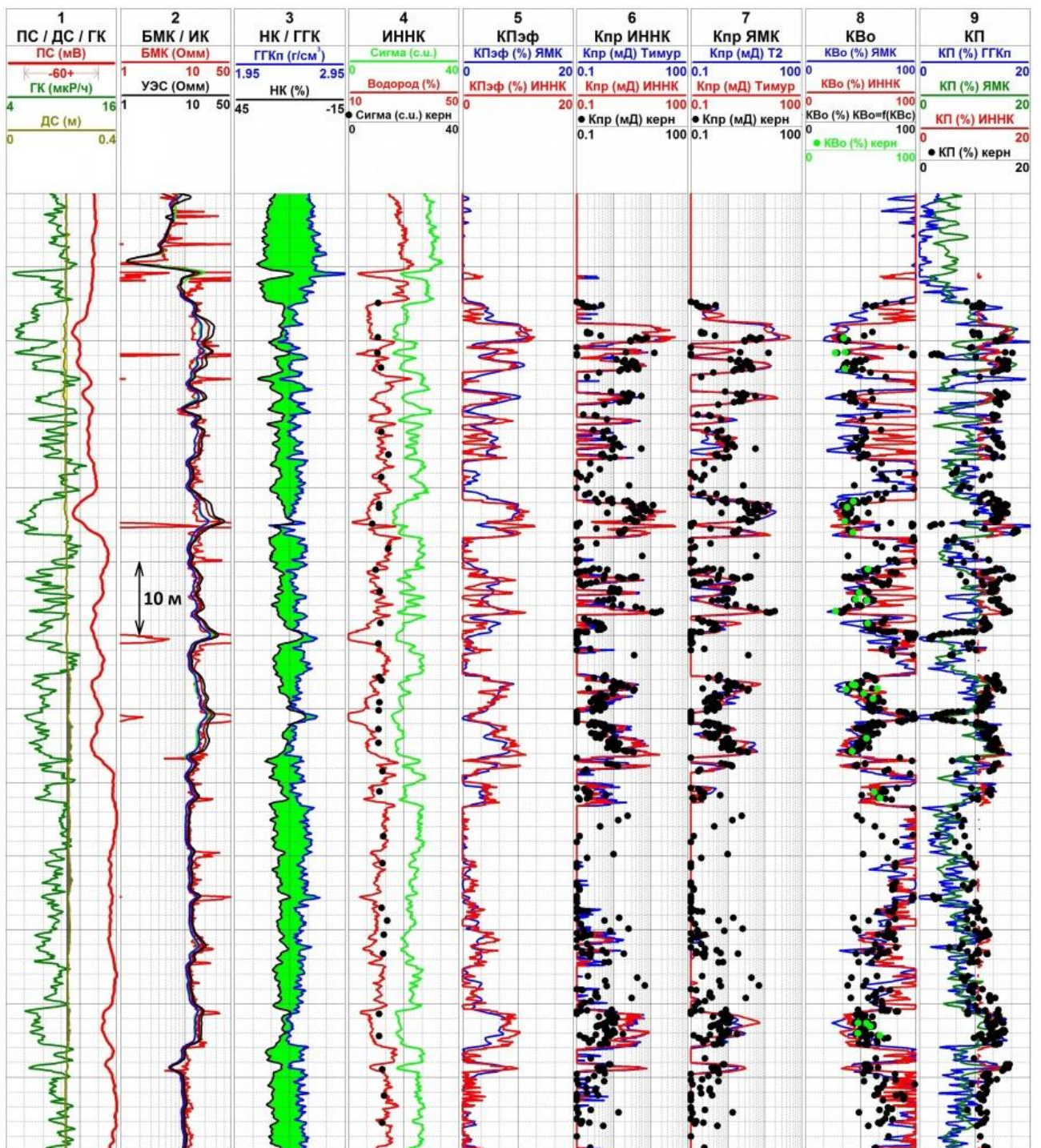


Рис. 3. Сравнение данных ГИС с результатами исследования керна.

Далее в треке 8 приведено сравнение $K_{Во}$ по данным ЯМК, INNK (на основе связи $K_{Во} = f(KПЭф)$ (рис. 2) и керна. Остаточная водонасыщенность по керну получена двумя способами: на центрифуге (2.4 Атм) и методом полупроницаемой мембраны (14 Атм). Очевидно, в данном случае данные, полученные на центрифуге, будут завышенными. Однако, количество образцов (зеленые точки), исследованных специальным методом, значительно меньше. Для повышения презентативности данных был проведен расчет на основе связи $K_{Во}$ (мембрана) от $K_{Вс}$ (центрифуга) по установленной зависимости $13.803 * \text{EXP}(0.0202 * K_{Вс})$ – черные точки.

В последнем треке 9 приведено сравнение КП по данным гамма-гамма плотностного каротажа (ГГКп), ЯМК, керна и ИННК, как $KП = KПЭф / (1 - Kво)$. В результате сравнения показаний в лучших коллекторах наличие дефекта плотности на показания ЯМК, ГГКп и ИННК не отмечается. Стоит также отметить, что минерализация пластовой воды составляет 11 г/л, это делает не контрастными нефть и воду по параметру Σa , но создает благоприятные условия для изучения ФЕС методом ИННК.

На втором этапе проведено сравнение информативности ИННК на основе сравнения с повторным замером в необсаженном стволе и дополнительным замером после обсадки стальной колонной (рис. 4).

Содержание первых трех треков, как на рис. 3.

В 4 и 5 треках представлено сопоставление данных ИННК основного и повторного замеров в необсаженном стволе скважины и замеров в обсаженном и необсаженном стволах скважины, соответственно.

В 5 треке сравниваются данные инверсии трех замеров ИННК по параметру КПЭф, а в 6 треке – Кпр по трем замерам ИННК и результатам керновых исследований.

И наконец, в крайнем треке сравнение Кпр согласно стандартному подходу $KП = f(Kпр)$ (рис.1.) и по керну. В целом, отмечается удовлетворительная сходимость, однако, существуют интервалы значительных расхождений, достигающих одного порядка Кпр.

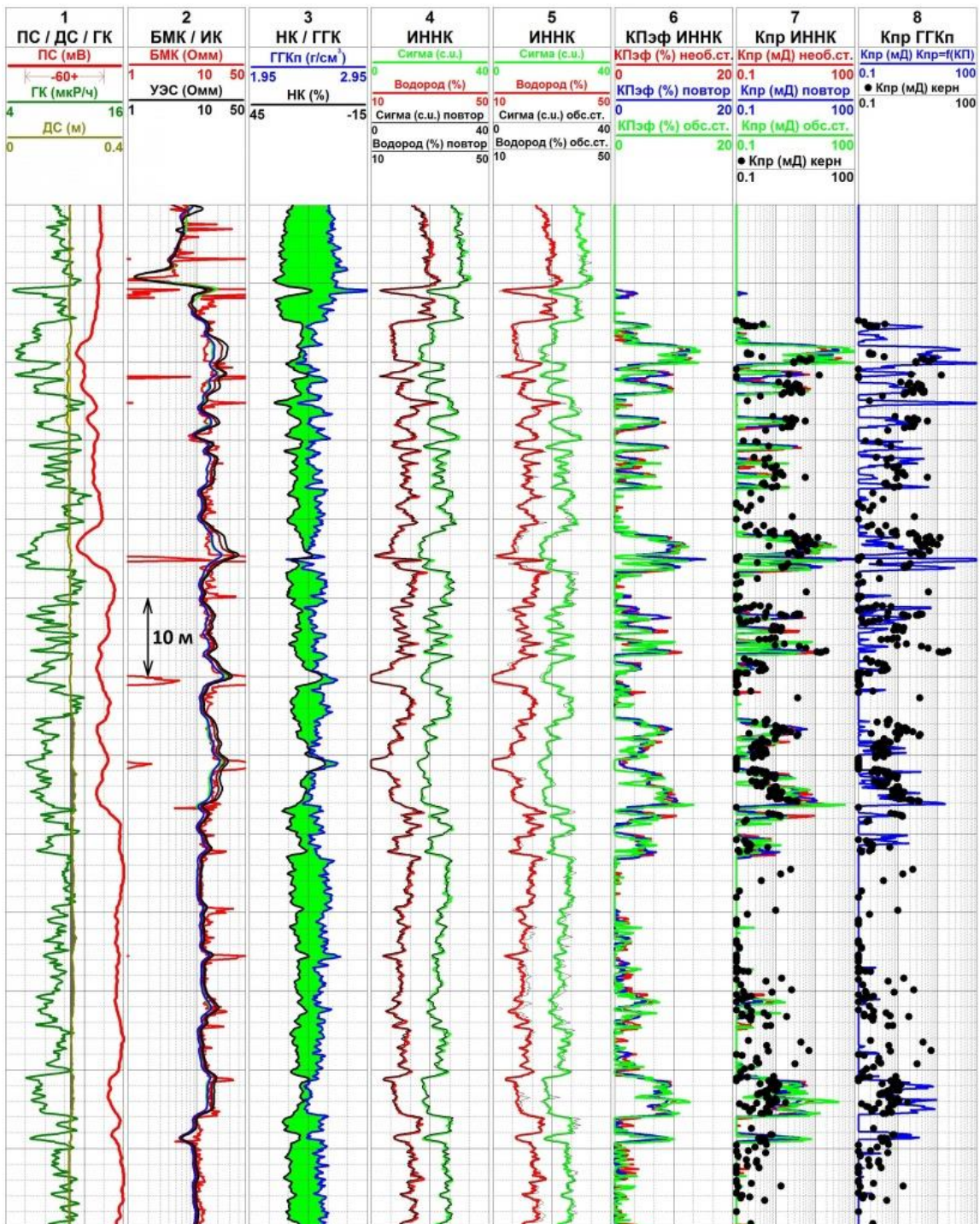


Рис. 4. Сравнение данных ИННК с результатами исследования керна.

Выводы

В результате проведенных исследований на основе имеющихся данных, сформулированы основные выводы применительно к объекту изучения:

- очередной раз показана низкая информативность стандартного подхода оценки проницаемости согласно связи $K_{пр} = f(KП)$;

- применение импульсного нейтронного каротажа позволяет оценить основные ФЕС коллекторов терригенных отложений: КП, КПэф, КВо, Кпр. Сравнительный анализ с данными керна и ЯМК демонстрирует высокую информативность данных ИННК;
- связь $K_{пр} = f(KПэф)$ более тесная, что позволяет напрямую рассчитывать проницаемость. В случае отсутствия статистически достаточного кернового материала приемлемо использование эмпирической модифицированной модели Тимура-Коатса по данным ИННК;
- сравнительный анализ инверсии данных ИННК в необсаженном и обсаженном стволах скважины демонстрирует перспективность данной технологии для изучения пласта в колонне, что существенно расширяет область применения метода.

Список литературы

- А.В. Хабаров, Я.Е. Волокитин. Оценка проницаемости терригенных пластов-коллекторов по керну, каротажу и промысловым данным. НТВ Каротажник № 12 (189) 2004. Тверь.
- К.В. Коротков, В.А. Велижанин. Оценка эффективной пористости коллекторов по комплексу импульсного и стационарного нейтронных методов ГИС. НТВ Каротажник № 3 2011. Тверь.
- Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. 2003. Москва-Тверь.
- Neuman, C.H., "Variable Sigma Matrix Method to Compensate for the Influence of Shaliness and Pulsed Neutron Capture Log Response," Paper No. SPE 24738.
- Schlumberger Log Interpretation Charts. 2009 Edition