



УДК 553.981-984

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

### THE PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF CLASTIC RESERVOIRS AND THEIR APPLICATION TO RESTORE THE ACOUSTIC PROPERTIES OF THE GEOLOGICAL SECTION

**Шкирман Наталья Петровна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
советник по геофизике,  
ОАО «Краснодарнефтегеофизика»  
nshkirman2012@ya.ru

**Шарапов Владимир Константинович**

nshkirman2012@ya.ru

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты детального анализа керна и возможные способы восстановления акустических характеристик разреза с использованием петрофизических характеристик керна. В качестве объекта исследования рассмотрены терригенные отложения нижнего карбона и верхнего девона одной из площадей Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** керн, терригенные породы, пористость, проницаемость, акустические характеристики, импеданс, инверсионные преобразования.

**Shkirman Natalya Petrovna**

Candidate of geological  
and mineralogical sciences,  
Adviser for geophysics,  
JSC Krasnodarneftegeofizika  
nshkirman2012@ya.ru

**Sharapov Vladimir Konstantinovich**

nshkirman2012@ya.ru

**Annotation.** This article presents the results of a detailed analysis of core and possible ways of restoring the acoustic characteristics of cut using the petrophysical characteristics of the core. As the object of research reviewed by terrigenous deposits of the lower Carboniferous and upper Devonian one of the squares of the Republic of Tatarstan.

**Keywords:** core, terrigenous rocks, porosity, permeability, acoustics, impedance, inversion transformation.

Основным и обязательным условием корректного решения задачи прогноза коллекторов и характера их насыщения является выполнение моделирования с использованием скважинной информации, которая позволяет определить наличие или отсутствие коллекторов определенного типа, их латеральное замещение, определение типа насыщения. Полученные модели позволяют принять правильное, наиболее достоверное решение о строении изучаемого интервала разреза.

Отсюда следует, что неперенным условием успешного решения прогноза коллекторов является наличие исходной информации об акустических свойствах изучаемого разреза. Идеальным случаем является тот, когда на площади работ имеется ряд скважин, в которых, помимо стандартных методов ГИС, выполнен плотностной и широкополосный акустический каротаж. При этом желательно, чтобы часть скважин находилась в контуре залежи, а часть – за ее пределами.

Однако на практике встречаются разные ситуации. И если на новых площадях объем разведочных скважин зачастую недостаточен, то в старых нефтедобывающих районах ситуация иная. Здесь количество глубоких скважин резко сокращается, к тому же имеющиеся скважины обычно пробурены очень давно и освещение их промыслово-геофизическими методами, как правило, очень скудное. Набор ГИС, как правило, включает кривые ПС, КС, ГК, иногда дополненные БК, ИК и НГК, к тому же кривые освещают только целевые интервалы разреза, а не разрез скважины в целом. Данные об акустической характеристике пород нередко полностью отсутствуют.

Были использованы результаты исследования более 60-ти образцов керна по четырем скважинам двух разведочных площадей. Стратиграфический диапазон изучаемых – нижний карбон (тульский + бобриковский ярусы) и фаменский ярус верхнего девона (тиманский горизонт, диапазон глубин – от 1100 до 1800 м. По всем скважинам приведены результаты только стандартного анализа керна, которые включают определение: пористости, проницаемости, содержания «связанной» воды, электрических сопротивлений при различной водонасыщенности, химический анализ карбонатных и гранулометрический анализ терригенных пород.

Чтобы максимально использовать всю имеющуюся по керну информацию, ранжирование упругих свойств пород базировалось на тщательном анализе информации об их фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС), что позволило разделить весь объем пород по их фильтрационным свойствам на несколько классов.

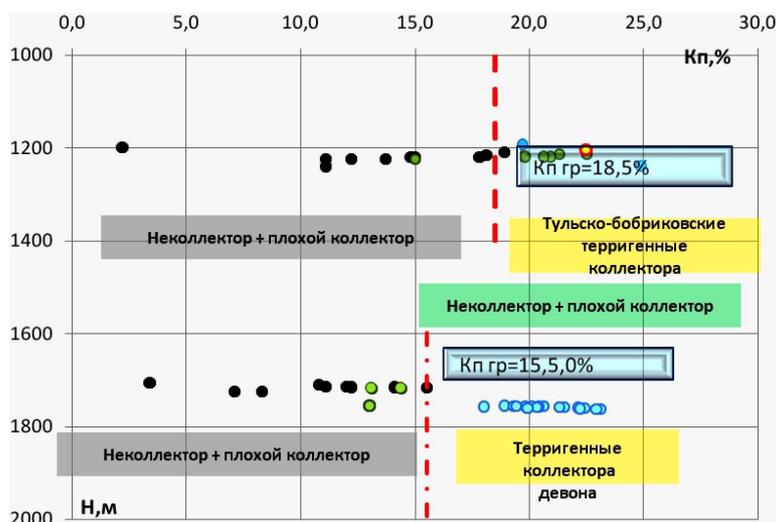
С учетом величины коэффициента проницаемости ( $K_{пр}$ ) образцы были разделены на пять условных классов: «неколлектора и плохие коллектора» (0–15 мД), «слабые коллектора» (20–160 мД), «хорошие коллектора» (250–1500 мД) и «очень хорошие коллектора» (1500–3000 мД).



Согласно этой градации проницаемость 19 образцов попали в класс «неколлекторов и плохие коллекторы», 22 образца – в класс «слабых коллекторов», 20 образцов – в класс «хороших коллекторов» и 1 образец принадлежит классу «очень хороших коллекторов».

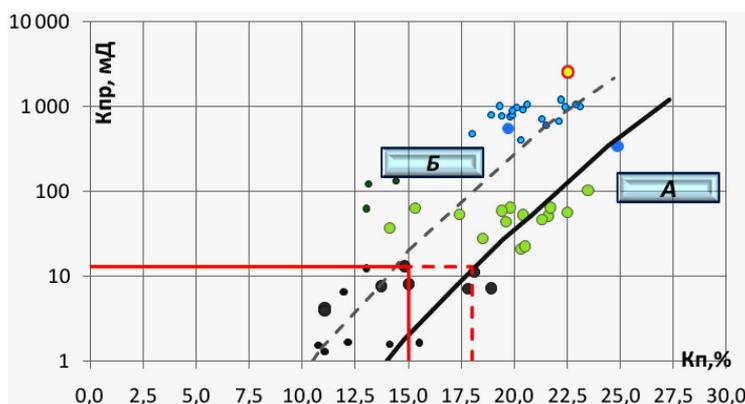
Распределение образцов пород по пористости с учетом  $Kп(H)$  показывает, что породы «неколлектора и плохие коллектора» встречаются в широком диапазоне  $Kп$  – от 3,5 до 18 %. «Слабые» коллектора занимают интервал  $Kп$  от 13 до 21 %; образцы, отнесенные к «хорошим» и «очень хорошим» коллекторам, характеризуются  $Kп$  от 18 до 25 % (рис. 1).

Зависимость  $Kпр = f(Kп)$ , также полученная по образцам керна с учетом выполненной градации, позволила определить граничные значения пористости и проницаемости терригенных пород. Эти значения составляют  $Kп \sim 18,5$  % для интервала нижнего карбона и  $Kп \sim 15,5$  % для интервала верхнего девона (рис. 1).



**Рисунок 1** – Изменение пористости терригенных пород нижнего карбона и верхнего девона с глубиной: черные точки – неколлектора и плохой коллектора, зеленые точки – слабые коллектора, голубые точки – хорошие коллектора, желтая точка – очень хорошие коллектора

Значения плотности водонасыщенных образцов были рассчитаны с учетом данных об общей пористости образцов, при этом минералогическая плотность была получена исходя из значений плотности сухих образцов, а плотность воды была принята  $1,0 \text{ г/см}^3$  (рис. 2).

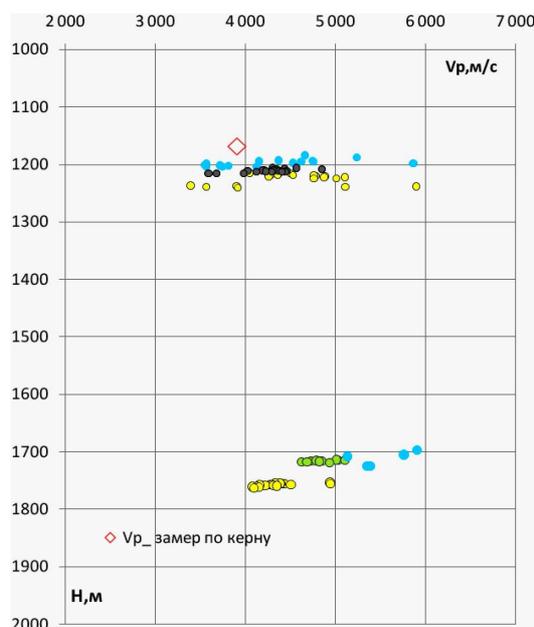


**Рисунок 2** – Зависимость изменения проницаемости от пористости терригенных пород нижнего карбона (А) и верхнего девона (Б)

В качестве основных пересчетных уравнений, связывающих плотность и скорость продольных волн для терригенных пород, была выбрана формула Тосая и Нура [1], вполне удовлетворительно описывающая связь указанных параметров в диапазоне плотности от  $2,0$  до  $2,7 \text{ г/см}^3$ .

Рассчитанные таким образом скорости продольных волн ( $Vр$ ) были сопоставлены со значением скорости, полученным при замерах на керне (одно измерение) (рис. 3).

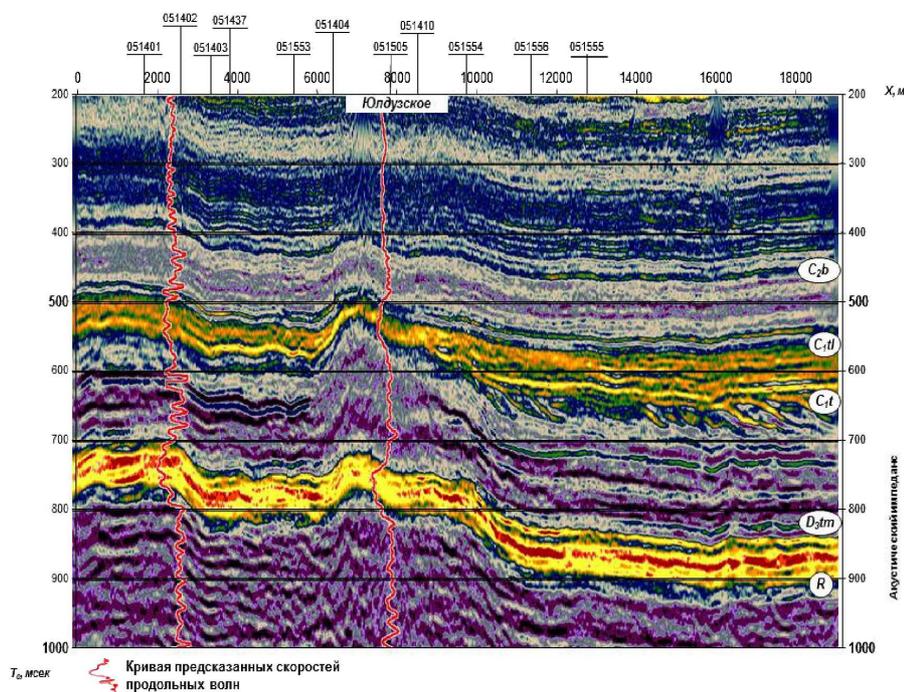
Кроме скоростей продольных волн  $Vр$  были рассчитаны также скорости поперечных волн ( $Vs$ ) через уравнения регрессии, связывающие  $Vр$  и  $Vs$  для терригенных пород. Полученный набор акустических характеристик, привязанный к керну изучаемого разреза, использовался для расчета акустических импедансов продольных ( $Ip$ ) и поперечных волн ( $Is$ ) и составления парных регрессий вида « $Is-Ip$ », « $d-Ip$ », « $d-Is$ », « $Kп-Ip$ », « $Kп-Is$ ».



**Рисунок 3** – Распределение скорости продольных волн с глубиной для терригенных коллекторов нижнего карбона и верхнего девона

Выполненная оценка граничных значений  $K_{плг}$  для коллекторов нижнего карбона и верхнего девона позволила наметить пороговые значения обозначить диапазон значений акустических импедансов, характеризующих области пород – неколлекторов и области потенциальных пород-коллекторов.

Полученные оценки акустических характеристик были использованы при выполнении инверсионных преобразований временных разрезов и выделения интервалов развития терригенных коллекторов нижнего карбона и верхнего девона, что, в конечном итоге, позволило более надежно выполнить прогноз продуктивности потенциально перспективных объектов (рис. 4).



**Рисунок 4** – Определение распространения терригенных коллекторов в интервалах нижнего карбона и верхнего девона по результатам инверсионных преобразований

**Литература/References:**

1. Gary Mavko, Tapan Mukerji, Jack Dvorkin. The rock physics handbook: tools for analysis in porous media. – Cambridge University Press, 2003.