УДК 550.832

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОД НЕОГЕНОВОГО И ПАЛЕОГЕНОВОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНО-КАМЧАТСКОГО БАССЕЙНА

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF ROCKS NEOGEN AND PALAEOGENE COMPLEX WEST OF THE KAMCHATKA BASIN

Гуленко Владимир Иванович
профессор, доктор технических наук,
Кубанский государственный университет

Помельникова Анна Александровна
геолог I категории,
филиал ПАО «Газпром добыча Краснодар»

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

Аннотация. Анализ упругих свойств горных пород является важным этапом при изучении физических свойств горных пород и позволяет выявить взаимосвязи между петрофизическими параметрами и сейсмическими данными. Полученные взаимосвязи представляют собой основу для интерпретации атрибутов и свойств, рассчитанных по сейсмическим данным, с целью получения прогноза пористости, насыщения и, по возможности, проницаемости.

Ключевые слова: Упругие свойства, акустический импеданс, породы-коллекторы, емкостные свойства, акустические характеристики, неогеновый комплекс, палеогеновый комплекс, петрофизические параметры.

Gulenko Vladimir Ivanovich
Professor, Doctor of Engineering,
Kuban State University

Pomelnikova Anna Aleksandrovna
Geologist of the I category,
branch of SLL «Gazprom dobycha Krasnodar»

Shkirman Natalya Petrovna
Candidate of geological-mineralogical Sciences, Associate Professor,
Adviser on geophysics,
JSC «Krasnodarneftegeofizika»
nshkirman2012@ya.ru

Annotation. Analysis of elastic properties of rocks is an important step in studying the physical properties of rocks and helps to identify the relationship between the petrofizicheskimi parameters and seismic data. The obtained relationship provide the basis for the interpretation of the attributes and properties, calculated based on seismic data, in order to obtain a prediction of porosity, saturation and permeability, if possible.

Keywords: Elastic properties, acoustic impedance, breeds-collectors, capacitive properties, acoustics, Neogene complex, Paleogene complex, petrofizicheskie parameters.

В настоящее время сейсмические данные широко используются для прогноза наличия коллекторов и оценки их емкостных свойств в изучаемом разрезе до бурения.

В благоприятных условиях, обладая информацией о значениях акустического и сдвигового импедансов, можно оценить детальную литологическую характеристику целевого интервала разреза, наметить области распространения пород-коллекторов, а также прогнозировать их емкостные свойства. Понятно, что успешное решение задачи в значительной зависит от априорной информации о литологии и дифференциации упругих свойств изучаемого разреза, получаемой поданным бурения и ГИС.

На примере разреза скв. Первоочередная-1, расположенной на шельфе Западной Камчатки, выполнена оценка акустических характеристик песчаных и глинистых пород неогенового и палеогенового комплексов, которые можно использовать в дальнейшем при интерпретации разрезов инверсии.

Для анализа были использованы данные акустического и плотностного каротажа скв. Первоочередная-1, а также результаты исследования керна, полученного из продуктивных интервалов в скважинах Кшукская 3 и Нижне-Квакчикская-11, расположенных на суше.

Прогноз акустических характеристик продуктивных интервалов

Продуктивность разреза в пределах Западной Камчатки связана с терригенными коллекторами неогенового и палеогенового комплексов.

Неогеновый комплекс скв. Первоочередная-1 представлен интервалами глубин 900–2150 м, которые включают песчаные породы эрмановской свиты и глины этолонской свиты.

Песчаные породы палеогенового комплекса представлены в интервале глубин 2420–3000 м отложениями вивентекско-кулувенской, аманинско-гакхинской и снатольской свит. Глинистые породы палеогена представлены глинами вивентекской свиты (интервал глубин 2500–2630 м).

Оценки параметров, полученные по материалам ГИС и совмещенные с замерами скорости и плотности по керну, приведены на рисунке 1.

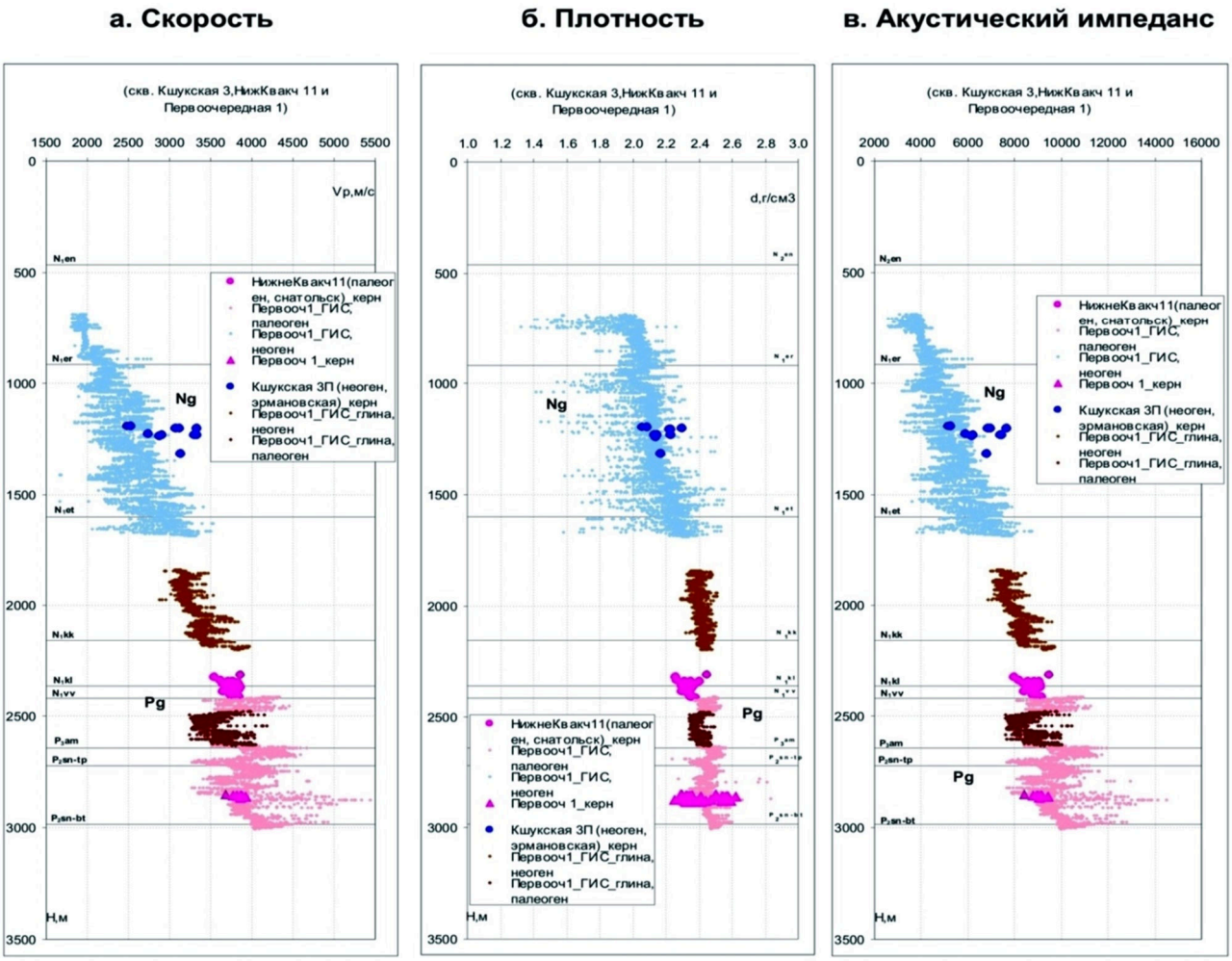

Рисунок 1 – Сопоставление акустических характеристик пород неогенового и палеогенового комплексов. Скв. Первоочередная-1

Помимо песчаных коллекторов и глин, разрез продуктивных интервалов представлен также алевролитами, углями, туфоалевролитами, туфопесчаниками и плотными породами.

При рассмотрении представленных зависимостей можно отметить следующее.

1. Для скоростных $V_p(H)$ и плотностных характеристик $d(H)$ как для неогенового, так и для палеогенового комплекса наблюдается общая тенденция возрастания параметров с глубиной. При этом для палеогеновый комплекс характеризуется меньшим градиентом изменения параметров пород (рис. 1,а,б).

2. Несмотря на имеющийся разброс точек на графиках $V_p(H)$ и $d(H)$, связанный с наличием в анализируемых интервалах тонких прослоев пород иной литологии, полученные графики могут быть аппроксимированы соответствующими регрессионными зависимостями.

3. Уравнения регрессии для скоростных характеристик песчаных и глинистых пород неогена выглядят следующим образом:

$$V_{p\ песч}\ (\text{м/с}) = 1{,}0750 \cdot \text{Н(м)} + 1183{,}1;$$

$$V_{p\ глин}\ (\text{м/с}) = 1{,}1476 \cdot \text{Н(м)} + 978{,}18.$$

Плотности пород описываются уравнениями:

$$d_{песч}\ (\text{г/см}^3) = 0{,}0003 \cdot \text{Н(м)} + 1{,}81;$$

$$d_{глин}\ (\text{г/см}^3) = 0{,}0001 \cdot \text{Н(м)} + 2{,}18.$$

4. Для палеогенового комплекса наблюдается более заметное различие в скоростных характеристиках песчаных пород и глин и практически полное совпадение их значений по параметру плотности.

5. При этом соответствующие регрессионные уравнения для песчаных и глинистых пород палеогена выглядят следующим образом:

$$V_{p\ песч}\ (м/с) = 0{,}7549 \cdot H + 1938{,}2;$$

$$V_{p\ глин}\ (м/с) = 1{,}6571 \cdot H - 600{,}44;$$

$$d_{песч}\ (г/см^3) = 0{,}0002 \cdot H(м) + 2{,}0295;$$

$$d_{глин}\ (г/см^3) = 0{,}0003 \cdot H(м) + 1{,}7542.$$

6. Диапазон значений акустического импеданса для глин неогена составляет 7,0–8,5 тыс. ед. (м·г/с·см^3) и 4,0–7,0 тыс. ед. – для песчаных пород, т.е. за счет большей плотности ($d_{сред\ песч}$ = 2,1 г/см^3, $d_{сред\ гл}$ = 2,4 г/см^3) глинистые породы неогена являются более высокоимпедансными.

7. Значения акустического импеданса для глин палеогена находятся в диапазоне 7,5–8,8 тыс. ед. (м·г/с·см^3); для песчаных пород – 8,3–12,0 тыс. ед. (рис. 1, 2, 3). Таким образом, песчаные и глинистые породы неогена уверенно разделяются по значению акустического импеданса *Ip* (Н).

Несмотря на небольшое перекрытие диапазонов *Ip* (Н), песчаники палеогена являются более высокоимпедансными по сравнению с глинами палеогена, а следовательно существуют предпосылки для разделения терригенного разреза на преимущественно песчаные и преимущественно глинистые.

Для сравнения на рисунке 2 приведены поточечные графики скоростных и плотностных характеристик песчаных пород продуктивного интервала скв. Нижне-Квакчикская-11.

По акустическим характеристикам глинистые породы в обеих скважинах близки между собой; значения *Ip* по скв. Первоочередная-1 составляет 7,5–8,5 тыс. ед., по скв. Нижне-Квакчикская-11 – 7,6–8,8 тыс. ед.

Песчаные породы снатольской свиты в скв. Первоочередная-1 отличаются более высокими скоростями *Vp* и плотностью, поэтому диапазон значений *Ip*, в целом, также смещается в область больших значений (для сравнения: скв. Нижне-Квакчикская-11 *Ip* ~ 7,8–10,7 тыс. ед., скв. Первоочередная-1 *Ip* ~ 8,3–12,0 тыс. ед.).

Сопоставление поточечных кривых параметров, построенных по данным ГИС с замерами по керну, иллюстрирует довольно хорошую их сходимость по как скорости, так и плотности.

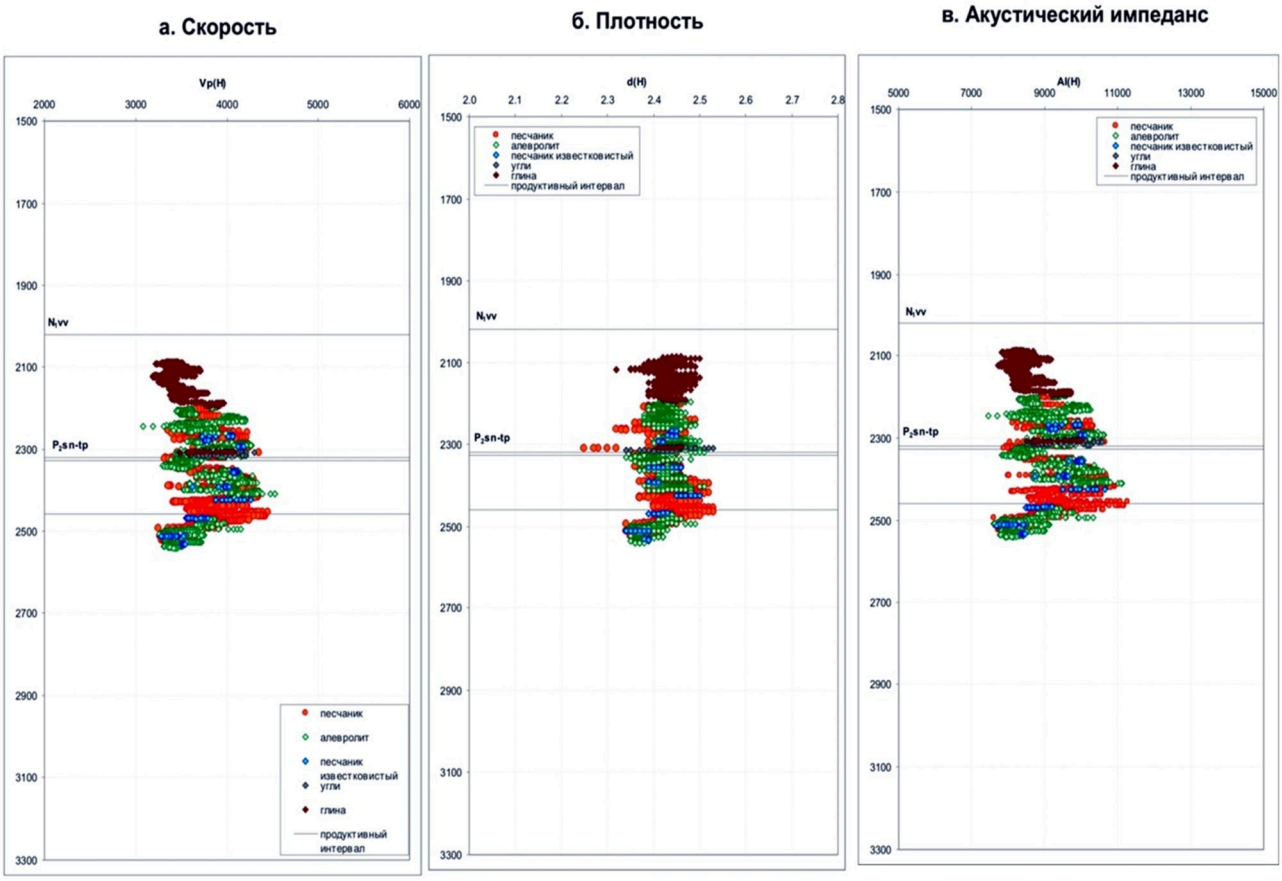

Рисунок 2 – Дифференциация акустических характеристик песчаных пород палеогена по литологическому признаку. Скв. Нижне-Квакчикская-11

Последнее позволяет считать, что выявленные закономерности справедливы не только для разрезов анализируемых скважин, но и в целом для южной части Западно-Камчатского участка. Таким образом, полученные регрессионные зависимости можно использовать в качестве априорных оценок акустических характеристик песчаных пород и глин.

Прогноз проницаемости целевых пачек

Как правило, в типовом комплексе ГИС отсутствуют методы для прямого определения величины абсолютной проницаемости. Решение этой задачи возможно с использованием различных вариантов корреляционных зависимостей.

Типичной формой связи, используемой для решения этой задачи, является нелинейная зависимость проницаемости от пористости [1]:

$$K_{пр} = a \cdot e^{b \cdot K_п}, \quad (1),$$

где $K_п$ – коэффициент пористости, в д.ед.; $K_{пр}$ – коэффициент проницаемости, мД, a и b – коэффициенты уравнения, определяемые эмпирическим путем.

Пример такой зависимости, полученной для песчаных коллекторов продуктивного интервала по данным ГИС скв. Нижне-Квакчикская-11, приведен на рисунке 3,А.

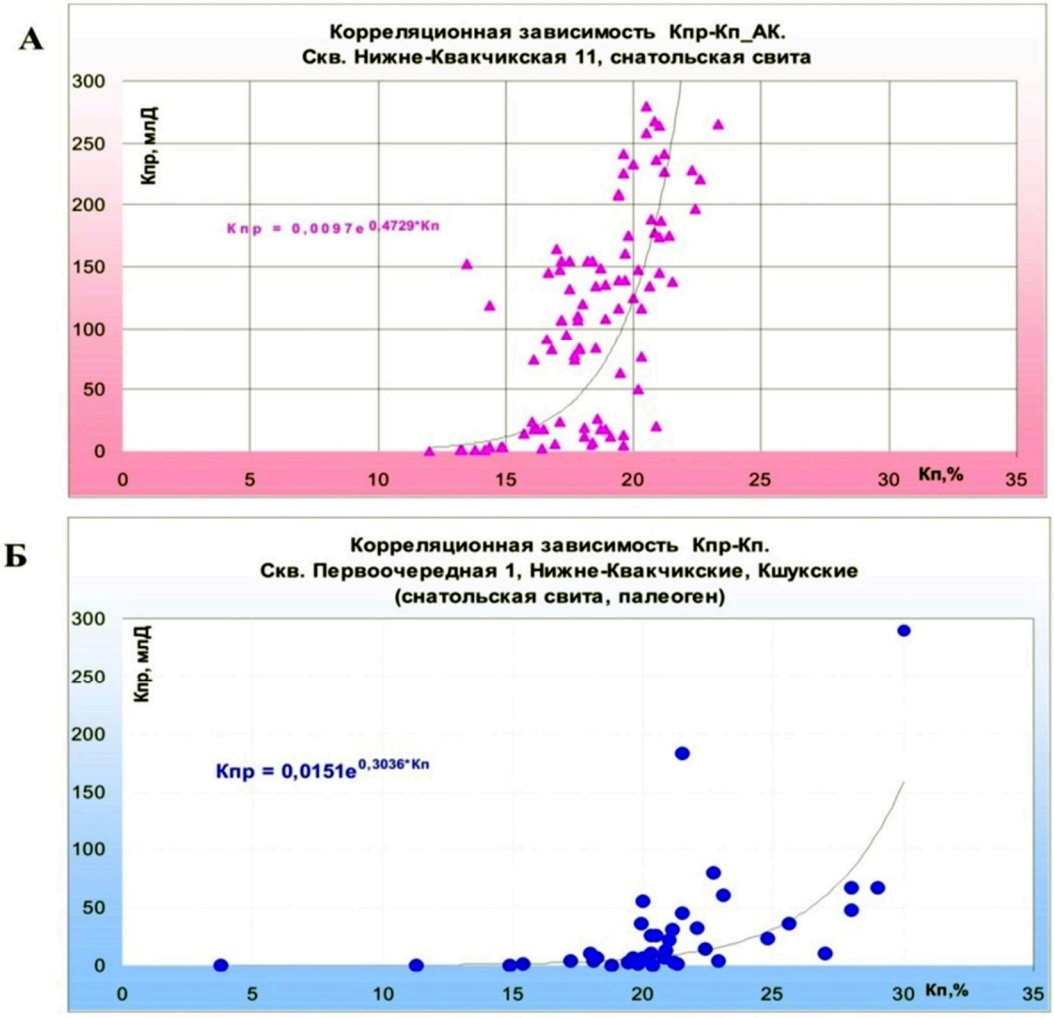

Рисунок 3 – Корреляционные зависимости $K_{пр}$ ($K_п$), полученные по данным ГИС и исследования керна. Западно-Камчатский участок

Использование зависимостей такого вида, как правило, должно учитывать влияние на величину коэффициентов уравнения вариаций литологии пород и условий осадконакопления.

При этом можно предложить следующую последовательность процедур:

– определение литологической характеристики пород по комплексу ГИС;

– обобщение геологической информации и уточнение границ литофациальных областей с построением зональной седиментационной модели;

– определение пористости пород с учетом влияния глинистости;

– выбор типичных уравнений пористости и проницаемости, характерных для конкретных литотипов пород и седиментологической зональности;

– выполнение расчета прогнозных значений абсолютной проницаемости.

Данный подход является классическим, но его реализация показывает, что из-за дисперсии коэффициентов уравнений связи, прогнозные значения проницаемости могут определяться с достаточно большой погрешностью.

На поисковом этапе, когда данные бурения крайне малочисленны или полностью отсутствуют, для оценки коэффициента проницаемости можно привлекать обобщенные зависимости.

Так, для песчаных пород Западно-Камчатского участка предлагается использовать зависимость $K_{пр}$ ($K_п$), полученную по материалам ГИС и данным керна в скважинах Кшукского и Нижне-Квакчикского ГКМ, подтвержденную результатам замера на керне в скв. Первоочередная-1:

$$K_{пр} = 0{,}0151 \cdot e^{0{,}3036 \cdot K_п} . \quad (2)$$

Характер распределения точек и полученной корреляционной зависимости представлен на рисунке 3,Б.

Литература:

1. Мараев И.А. Комплексная интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Учебное пособие. – М. : МГРИ_РГГРУ, 2013. – 95 с.

References:

1. Maraev I.A. Complex interpretation of geophysical research results. Manual. – M. : MGRI_RGGRU, 2013. – 95 p.