

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ В СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ПО ДАНЫМ МНОГОВОЛНОВОГО АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

И.О. Баяук\*, В.И. РЫЖКОВ\*\*

\* *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

\*\**Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.  
Губкина*

## LOCALIZATION OF FRACTURED ZONES IN CARBONATE RESERVOIR ROCKS OF COMPLEX STRUCTURE FROM MULTI-WAVE ACOUSTIC LOGS

I.O. Bayuk\* & V.I. Ryzhkov\*\*

\* *Russian Academy of Sciences, Institute of Physics of the Earth*

\*\**Gubkin Russian State University of Oil and Gas*

### **Аннотация**

Карбонатные коллектора представляют собой сложные среды, содержащие пустоты разного типа (трещины, поры, каверны). Этим породам свойственно наличие закрытой пористости, их строение разномасштабно. Как правило, упругие свойства таких коллекторов являются анизотропными (НТИ, орторомбическая симметрия). Эти факторы затрудняют применение традиционных подходов к изучению свойств таких пород. В работе демонстрируются новые возможности, которые предоставляет объединение теоретических методов определения упругих свойств пород, основанных на теории эффективных сред (ТЭС), и современных экспериментальных технологий, основанных на использовании данных многоволнового акустического каротажа. Рассматриваются основные принципы теоретического моделирования физических свойств пород и подходы к построению разномасштабных моделей пород. Демонстрируется применение этих подходов к проблеме локализации трещиноватых зон карбонатных коллекторов: традиционного карбонатного коллектора, содержащего две системы пустот - хаотические поры и субвертикальные трещины и сложнопостроенного коллектора Юрубчено-Тохомской зоны.

### **Abstract**

Carbonate reservoir rocks are complicated media containing voids of different types (cracks, pores, and vuggs). Often these rocks contain closed pores, and the structure of the rocks is different at different scales. In general, the elastic

properties of the rocks are anisotropic (HTI, orthorhombic symmetry). These factors lead to significant problems when traditional approaches of the rock properties determination are applied. In this work new possibilities provided by a combination of theoretical approaches based on the effective medium theory (or Rock-Physics approaches) and modern experimental techniques including multi-wave acoustic logging are shown. Basic principles of theoretical modeling and approaches to constructing multi-scale models of rocks are considered. It is demonstrated how the approaches are used to localize fractured zones of two carbonate reservoir rocks: a traditional carbonate reservoir containing two systems of voids – randomly oriented pores and subvertical cracks and complex reservoir of Yurubcheno-Tokhomskoe field.

В последнее время популярным стало применение методов ТЭС (или Rock Physics) к прогнозу физических свойств пород. Однако это применение зачастую носит характер «броуновского движения», и зачастую, применяют метод «который применяют обычно» или который имеет наиболее простые формулы. Как правило, такой подход приводит к неудовлетворительным результатам и поспешным неправильным выводам о ТЭС. Следует отметить, что ТЭС является мощным средством, позволяющим связать наблюдаемые физические свойства с внутренним строением породы – минеральным составом, формой, ориентацией и концентрацией пустот и степенью их связности. ТЭС применима к анизотропным породам и позволяет проанализировать влияние различных факторов на анизотропию их физических свойств. С помощью ТЭС возможен прогноз свойств одного типа по свойствам другого типа [1].

Для успешного применения ТЭС необходимо построить модель породы, которая отражает основные черты ее внутреннего строения. Поскольку разные породы имеют различное внутреннее строение, то и их модели должны быть разными. Модель коллектора должна отражать его разномасштабное строение, строиться по принципу «от меньшего размера к большему» и отражать строение породы, наблюдаемое в разных масштабах. После построения модели породы проводится ее параметризация. Причем, параметры модели в каждом масштабе могут быть разными. Параметрами модели являются, например, аспектное отношение пустот, коэффициент, отражающий степень связности пустот, трещинная пористость и т.п. Часть параметров модели заранее неизвестна (например, те, которые перечислены выше). Неизвестные параметры модели определяются путем ТЭС-инверсии (методом наименьших квадратов – линейным или нелинейным) по измеренным физическим свойствам. В случае неудачной ТЭС-инверсии модель построенная коллектора корректируется.

Карбонатные коллектора, как правило, обладают сложным строением пустотного пространства, включающем в себя трещины и поры различного

размера и степени раскрытости. Это разнообразие пустотного пространства проявляет себя уже в масштабе образца. Важной особенностью строения пустотного пространства карбонатных коллекторов является наличие закрытой пористости. В масштабе проведения работ ГИС карбонатные коллектора часто проявляют анизотропию упругих свойств, обусловленную системами субвертикальных трещин.

В данной работе показано решение некоторых задач, полученное с помощью ГЭС.

#### 1. Локализация зон ориентированной трещиноватости карбонатных коллекторов [2]

Анизотропия упругих свойств, вызванная системой субвертикальных трещин, проявляется в явлении, называемом расщеплением поперечных волн, которое заключается в том, что в одном направлении могут распространяться две поперечные волны, имеющие различную скорость. Степень различия скоростей поперечных волн зависит от направления распространения волн. Максимальная относительная разница скоростей называется *истинным расщеплением*. Если упругая анизотропия обусловлена лишь системами субвертикальных трещин, то максимальное различие скоростей наблюдается в случае их распространения в плоскости трещин. В этом случае среда обладает анизотропией типа НТІ (трансверсально-изотропная среда с горизонтальной осью симметрии).

Локализация зон ориентированной трещиноватости карбонатных коллекторов является важной задачей, поскольку эти зоны являются перспективными для проведения буровых работ. Однако по мере отклонения направления распространения волн от плоскости трещин степень различия скоростей поперечных волн уменьшается. Наблюдается так называемое *кажущееся расщепление*, и появляется опасность «пропустить» зону ориентированной трещиноватости.

В работе демонстрируется подход, позволяющий по данным ГИС, включающим данные монопольного и дипольного каротажа и углу наклона ствола скважины к плоскости трещин, определить истинное расщепление по кажущемуся, а также зависимость емкости трещин от истинного расщепления. Этот подход дает также возможность определить распределение объема пустот (трещин и пор) по аспектным отношениям, которое является мерой степени раскрытости трещин.

#### 2. Определение параметров внутреннего строения карбонатных коллекторов Юрубчено-Тохомской зоны (ЮТЗ) [3].

Результаты микроструктурного исследования представительных образцов карбонатного коллектора ЮТЗ показали, что коллектор имеет строение, нетипичное для карбонатных коллекторов. На основе результатов микроструктурного анализа образцов и визуального анализа

полноразмерного керна карбонатного коллектора ЮТЗ построена модель коллектора, приводящая к ортримбической симметрии его упругих свойств. При построении модели коллектора учитывалось существование структурных элементов различных масштабов. В породе можно выделить следующие *структурные элементы* одного масштаба: (1) минеральную матрицу, представленную доломитом и содержащую 1-2% квазиизометрических пор, (2) кавернозные зоны, представленные широкими (шириной несколько миллиметров) субгоризонтальными флюидопроводящими каналами, (3) горизонтальные трещинами, стиллолитовыми швами и трещиноватыми халцедоновыми прослоями (до 1%), (4) вертикальные трещины (до 1%). Минеральное вещество, выполняющее кавернозные зоны, в общем случае, не является преимущественно доломитом, а чаще представлено халцедоном.

В работе была построена разномасштабная модель коллектора ЮТЗ. Модель строилась в три этапа. На первом этапе матричная пористость помещалась в доломитовую матрицу. На втором этапе каверны помещались в некоторую минеральную матрицу, свойства которой, согласно данным петрографического анализа, отличались от свойств доломита. На третьем этапе в пористую доломитовую матрицу помещались вытянутые по горизонтали частицы кавернозного вещества, вертикальные трещины и горизонтальные трещины, моделирующие стиллолитовые швы. Построенная таким образом модель коллектора ЮТЗ была параметризована, а параметры получены с помощью ТЭС-инверсии по данным ГИС. В набор параметров модели, помимо других, входила матричная, трещинная и кавернозная пористость.

В работе представлены результаты определения распределения по глубине пористости различного типа (матричной, кавернозной, трещинной) пород ЮТЗ. Продемонстрировано надежное выделение зон трещиноватости, подтвержденное независимыми результатами обработки данных ГИС.

### **Список литературы**

1. Bayuk I.O., Chesnokov E.M. Correlation between elastic and transport properties of porous cracked anisotropic media // J. Phys. Chem. Earth. 1998. Vol. 23. No. 3. P. 361–366.
2. Баюк И.О., Рыжков В.И., Определение параметров трещин и пор карбонатных коллекторов по данным волнового акустического каротажа // Технологии сейсморазведки, 2010. № 3. С. 32–42.
3. Баюк И.О., Постникова О.В., Рыжков В.И., Иванов И.С. Математическое моделирование анизотропных эффективных упругих свойств карбонатных коллекторов сложного строения // Технологии сейсморазведки. 2012. №3. С. 42–55.

