

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ

**Е. А. Маклакова**

(Тюменский государственный нефтегазовый университет)

*Ключевые слова: порода-коллектор, пористость, проницаемость*  
*Key words: reservoir rock, porosity, permeability*

Отложения ачимовской толщи содержат достаточное количество углеводородного сырья, необходимого для того, чтобы рассматривать эти отложения как одни из основных. Фациальная характеристика ачимовских отложений существенно отличается от характеристик пластов, расположенных стратиграфически ниже и выше. Основными его коллекторами являются алеврито-песчаные отложения, чередующиеся с непроницаемыми и слабопроницаемыми глинисто-алевритовыми породами, занимающими в составе пласта больший его объем.

Породы-коллекторы ачимовской толщи характеризуются высокой литологической неоднородностью и отсутствием согласованности между пористостью и проницаемостью. Поскольку в типовом комплексе геофизических исследований скважин (ГИС) отсутствуют методы для прямого определения величины абсолютной проницаемости, то попытки рассчитать проницаемость через пористость, используя традиционную логарифмическую зависимость, оказались безуспешны.

Для решения данной проблемы при анализе и прогнозе фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) ачимовских отложений предложена концепция гидравлических типов коллектора [1, 2], позволяющая в разрезе скважины выделить и классифицировать породы с близкими характеристиками порового пространства.

Данный подход предполагает существование нескольких характерных типов коллекторов, сформировавшихся в подобных седиментационных и диагенетических условиях, имеющих близкие геометрию пор и физико-химические свойства породы. Для каждого из таких типов коллектора существуют характерные взаимосвязи между статическими (пористость, распределение пор по размерам) и динамическими параметрами (абсолютная и фазовые проницаемости, функция капиллярного давления).

Гидравлическая единица коллектора определяется как представительный элементарный объем породы, внутри которого геологические и петрофизические свойства, влияющие на течение жидкости, взаимно согласованы и предсказуемо отличны от других коллекторов.

Пространственная распространенность гидравлических единиц коллектора может или совпадать или не совпадать с литологическими и фациальными зонами распространения пород-коллекторов, поскольку фильтрационно-емкостные свойства терригенных пород определяются седиментационными условиями и влиянием последующих диагенетических процессов. Во многих случаях один тип коллектора может образоваться в различных фациальных условиях и наоборот, в пределах одной фации присутствуют несколько гидравлических типов коллектора.

Основными задачами метода гидравлических единиц являются:

- классификация типов пород, связанных петрофизических параметров и зависимостей по экспериментальным измерениям на образцах керна;
- прогноз типа коллектора по данным ГИС в скважинах без отбора керна.

Традиционный подход, используемый для прогноза проницаемости по ГИС, основан на зависимости вида  $\ln K_{пр} = a + b \cdot K_{п}$  по данным керна (рис. 1), которая применяется для расчета проницаемости по открытой пористости, определенной по ГИС, хотя не известно физической причины, по которой логарифм проницаемости должен линейно зависеть от пористости. При использовании этого подхода необходимо учитывать изменчивость коэффициентов уравнения в зависимости от литотипа пород и условий осадконакопления. Методы, основанные на регрессии, преднамеренно игнорируют наблюдаемый разброс экспериментальных данных и предсказывают сглаженное распределение проницаемости.

Другая группа традиционно используемых методов основана на корреляции проницаемости с различными методами ГИС (ПС, двойной разностный параметр, сопротивление и др.), что в некоторых случаях имеет физическую основу. Однако данные методы, как правило, имеют ограниченную применимость, поскольку получены для конкретных геологических объектов и сильно подвержены влиянию внешних факторов и условиям записи каротажа [3, 4].

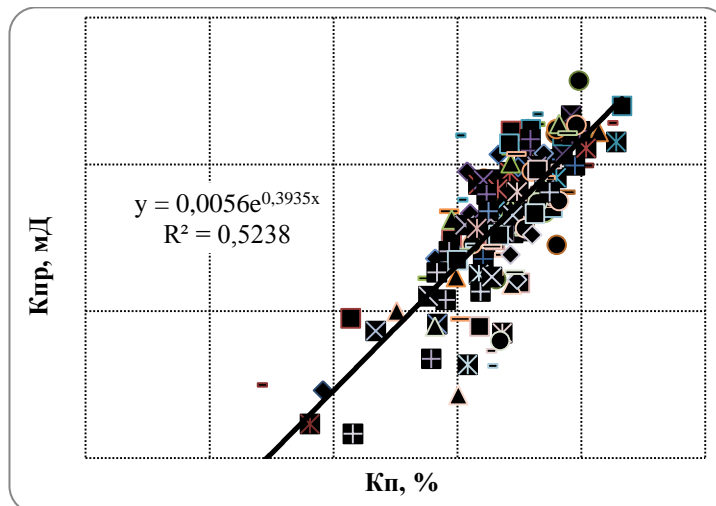


Рис. 1. Зависимость  $K_{пр}^{керна} - K_{п}^{керна}$  пластов Ач

Более оправданным является прогноз с позиции классификации коллекторов на основе гидравлических единиц потока. Классификация гидравлических единиц основана на представлении о пористой среде как о пучке капилляров. Это допущение позволяет получить уравнение для определения проницаемости модели идеальной породы с учетом уравнения Дарси и Пуазейля:

$$Knp = \frac{r^2}{8} Kn^{эф}, \quad (1)$$

где  $Knp$  – проницаемость, мкм<sup>2</sup>,  $r$  – радиус пор, мк,  $Kn^{эф}$  – эффективная пористость, доли.

Это простое соотношение показывает, что фактор пропорциональности между пористостью и проницаемостью определяется характеристиками порового пространства – радиусом и формой (8 для цилиндрических пор). Для реалистичной пористой среды получили модифицированное соотношение (3), используя средний гидравлический радиус пор, выраженный через удельную поверхность пор и фактор извилистости поровых каналов:

$$Knp = \frac{Kn^3}{(1 - Kn)^2} \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2}, \quad (2)$$

где  $F_s$  – параметр формы,  $\tau$  – параметр извилистости,  $S_{gv}$  – площадь поверхности пор на единицу объема, мкм<sup>-1</sup>.

Группа  $F_s \tau^2$  известна как константа Козени и являлась основным ограничением в предыдущих попытках использовать уравнение (3) для расчета проницаемости, поскольку фактические значения  $F_s \tau^2$  неизвестны для конкретных пород, величина удельной поверхности породы  $S_{gv}$  не учитывалась в константе Козени.

В качестве альтернативы константе Козени подход гидравлических единиц коллектора использует *индикатор гидравлического типа коллектора FZI (Flow Zone Indicator)* (3), который включает основные параметры геометрии порового пространства и является ключевой характеристикой для классификации пород. Дополнительным вспомогательным параметром является *индекс качества коллектора RQI (Reservoir Quality Index)* (4), который характеризует средний гидравлический радиус поровых каналов и представляет аналог «комплексного параметра», используемого в отечественной практике:

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}}, \quad (3)$$

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{Knp}{Kn}}, \quad (4)$$

где 0,0314 – коэффициент для промысловой системы единиц (мД). В сокращенном виде уравнение (2) выглядит как

$$RQI = Kn^{норм} \cdot FZI, \quad (5)$$

где

$$Kn^{норм} = \frac{Kn}{1 - Kn}. \quad (6)$$

Используя уравнения (3), (4), (6), параметры  $FZI$  и  $RQI$  могут быть рассчитаны по значениям пористости и проницаемости, определенными по образцам керн в опорной скважине (рис. 2).

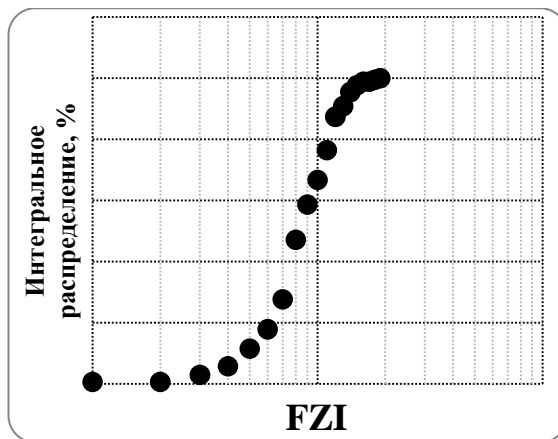


Рис. 2. Распределение индикатора гидравлического типа коллектора

Это распределение можно разбить на семь основных групп, которые будут представлять отдельные гидравлические единицы, характеризующиеся некоторыми средними значениями FZI [5, 6].

После разделения на основные группы, зависимость  $Knp=f(Kn)$  приобретает вид (рис. 3), где определить  $Knp$  можно с большей вероятностью.

При сопоставлении проницаемости, рассчитанной по стандартной методике и через гидравлические единицы коллектора с керновыми данными, получены следующие результаты (рис. 4, 5).

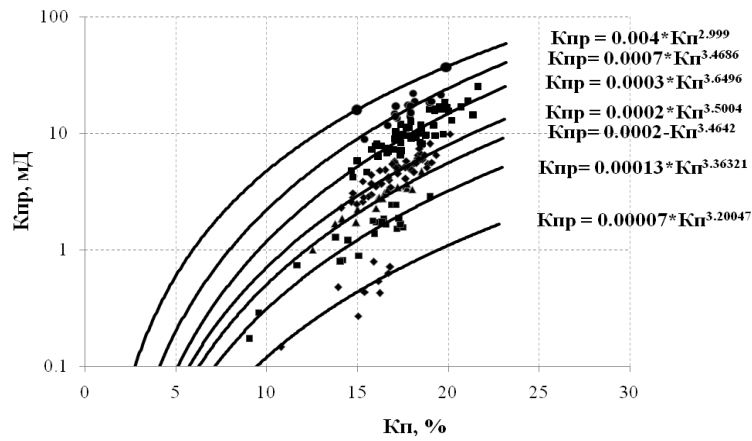


Рис. 3. Зависимость  $K_{пр}^{кери}$  -  $K_n^{кери}$  пластов Ач по 7 основным группам пород-коллекторов

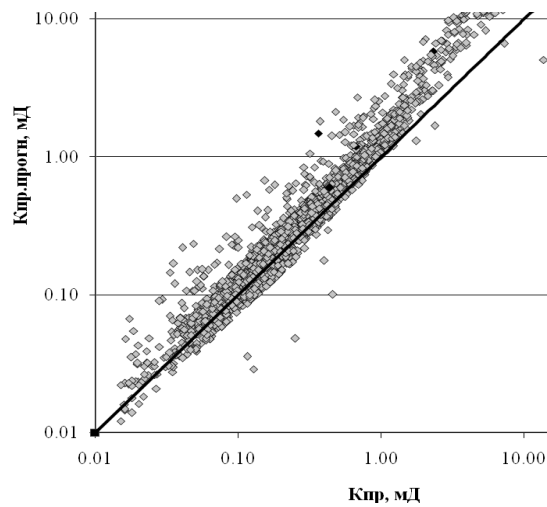


Рис. 4. Сопоставление проницаемости, рассчитанной по стандартной методике с керовыми данными

Прогноз проницаемости с учетом гидравлических единиц дает более тесную корреляционную связь, а значит и более точный прогноз (см. рис. 4 -5).

После того, как стало известно число основных гидравлических единиц коллектора, их характеристики и граничные значения FZI, можно определить распределение типов коллектора в разрезе каждой скважины. Для прогноза типа коллектора в интервалах без отбора керна необходимо найти связь между типом коллектора или FZI и данными доступных методов ГИС.

Например, это может быть осуществлено по показаниям радиоактивного каротажа и метода ПС, поскольку FZI имеет хорошую корреляцию с естественно гамма- и электрохимической активностью пород [3]. При этом необходимо использовать имеющиеся значения FZI по керну в качестве эталона.

Неплохие результаты получены при сопоставлении зависимостей  $FZI=f(Kп, \Delta T, GZ1/RS)$  [5, 6].

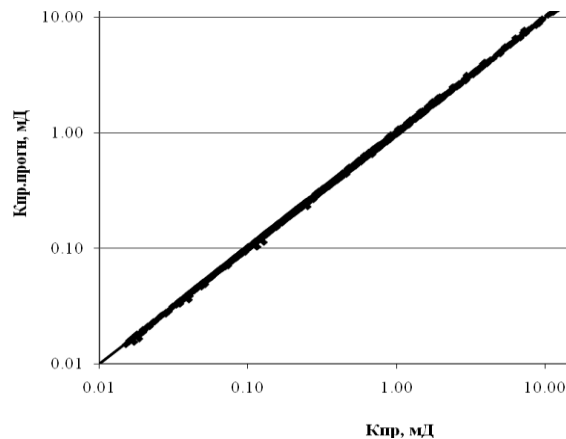


Рис. 5. Сопоставление проницаемости, рассчитанной через гидравлические единицы коллектора с керовыми данными

#### **Выводы**

1. При интерпретации ГИС и прогнозе проницаемости применение классификации коллекторов с учетом гидравлических единиц коллектора дает более надежные результаты.
2. Каждый тип породы связан с петрофизическими и литологическими свойствами.
3. В результате разделений коллекторов на основные группы уточняется петрофизическая модель ачимовских отложений, что сказывается на уточнении подсчетных параметров и выявлении связей ГИС-керна.

#### **Список литературы**

1. Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., and Keelan, D. K., 1993, Enhanced Reservoir Description: Using core and log data to identify Hydraulic (Flow) Units and predict permeability in uncored intervals/wells, SPE 26436, presented at 68th Ann. Tech. Conf. And Exhibit., Houston, Tx.
2. Ebanks, W. J., 1987, The Flow Unit Concept – An Integrated Approach to Reservoir Description for Engineering Projects, Proc., AAPG Annual Convention.
3. Hearst J. R., Nelson P. H., Paillet F. L. Well Logging for Physical Properties. J. Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 2002. – 483 p.
4. Итенберг С. С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. - М.: Недра. 1987. – 375 с.
5. Меркулов В. П., Посысов А. А. Оценка пластовых свойств и оперативный анализ каротажных диаграмм. - Томск, 2004. – 113 с.
6. Меркулов В. П., Краснощекова Л. А. Исследование пространственной литолого-петрофизической неоднородности продуктивных коллекторов месторождений нефти и газа. Изв. ТПУ, т. 305, вып. 6. - Томск 2002. – С. 296 – 304.

#### **Сведения об авторе**

**Маклакова Екатерина Александровна**, научный сотрудник лаборатории геологического моделирования научно-исследовательского отдела геологии и подсчета запасов ТО «СургутНИПИнефть», тел.: 687-349

**Maklakova E.A.**, scientific worker, Laboratory of Geological Modeling, Research Department for Geology and Reserves Estimation, Tyumen branch of «SurgutNIPIneft», phone: 687-349