

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСА ПЕРКОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КОРРЕЛЯЦИИ ИХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Весь фонд скважин, как правило, охватывается лишь геофизическими методами исследования, по которым определяются емкостные и фильтрационные характеристики коллекторов, используя петрофизические корреляционные связи между ними. Однако теснота этих связей, например, между пористостью и проницаемостью, весьма слабая. Между тем, точность определения фильтрационных свойств пластов, особенно по-слойно неоднородных коллекторов, имеет важное значение для геологов, геофизиков и разработчиков. Предварительное выделение классов (типов) пород по тем или иным характеристикам и последующее построение корреляционных зависимостей внутри этих классов позволяет увеличить тесноту искомым связям.

Целью данной работы является развитие методики дифференциации нефтенасыщенных коллекторов по индексу перколяции и на этой основе получение более тесных зависимостей пористость – проницаемость. Индекс перколяции представляет из себя комплексный параметр, определяемый, в свою очередь, пористостью и проницаемостью коллекторов. Исследования проводились на большом количестве ядерного материала из отложений верхнего девона и нижнего карбона нефтяных месторождений Татарстана (более 2000 образцов). В работе использовались результаты анализа ядра с самыми различными литологическими, текстурными и структурными характеристиками. Были исследованы петрографические и петрофизические характеристики ядра, изучены распределения пористости, проницаемости, удельного электрического сопротивления, связанной воды и определены границы индекса перколяции для дифференциации коллекторов. В выделенных интервалах индекса перколяции были построены уточненные зависимости проницаемости от пористости, которые характеризуются высокой степенью связи, и, следовательно, повышают надежность оценок проницаемости по результатам интерпретации геофизических исследований скважин.

Полученные результаты показывают, что методика может быть использована и на других площадях, и в других литологических комплексах при решении задач геологии и разработки нефтяных месторождений.

Введение

Изучение зависимости проницаемости от пористости занимает одно из ключевых мест в петрофизических исследованиях нефтесодержащих пород. Общеизвестно, что не существует однозначной функциональной связи проницаемости от пористости и что характер этой зависимости определяется физическо-химическими свойствами изучаемых объектов (Pirson, 1958; Сургучев и др., 1984). Имеется ряд способов решения проблемы неоднозначности в зависимостях проницаемости от пористости (Бабадаглы и др., 1988). Для них присущи следующие общие свойства:

- зависимости строятся в виде статистических моделей по результатам лабораторных исследований ядра или данных геофизических исследований скважин (ГИС);

- модели, как правило, квази-трехмерные, т.е. в зависимость проницаемости от пористости вводится некий третий аргумент, выступающий в роли признака–классификатора, по которому и производится выбор конкретной численной модели.

В роли таких классификаторов часто используются: коэффициент глинистости, принадлежность к определенной геологической формации, к определенному блоку или залежи (месторождению), выделенные интервалы значений пористости и проницаемости, литологический тип пород и т.д. При этом, как правило, действуют все классификаторы, но один из них выбирается базовым. Например, при построении петрофизической модели месторождения строят набор указанных зависимостей по

продуктивным пластам, которые, в свою очередь, могут быть разложены на отдельные зависимости по интервалам значений пористости и проницаемости и/или литологическим типам, слагающим продуктивные пласты пород.

Перечисленные выше подходы используют один или несколько свойств (признаков) нефтесодержащей породы, априори полагая, что они являются определяющими и могут быть приняты за классификационный признак. Нами предлагается принципиально новый подход, заключающийся в том, чтобы не “вычленять” из комплекса свойств отдельные параметры, а использовать интегральную сущность самих параметров, таких как пористость и проницаемость. Действительно, и проницаемость, и пористость есть признаки, обусловленные самыми разнообразными факторами, и, следовательно, несущие интегральную информацию о структуре и фильтрационных свойствах рассматриваемого объекта.

Характеристика объектов исследований

В качестве исходных данных нами используются результаты лабораторных исследований ядра девонских и бобриковских отложений Ново-Елховского и Сабанчинского месторождений (в общей сложности более 2000 образцов).

Образцы представлены терригенными породами со структурой в широком диапазоне – от илистых до среднезернистых, сортировкой зерен от умеренной до хорошей, формой зерен от полуугловатой до полуокатанной,

Девонские отложения Ново-Елховской площади



Бобринские отложения Ново-Елховской и Сабанчинской площадей

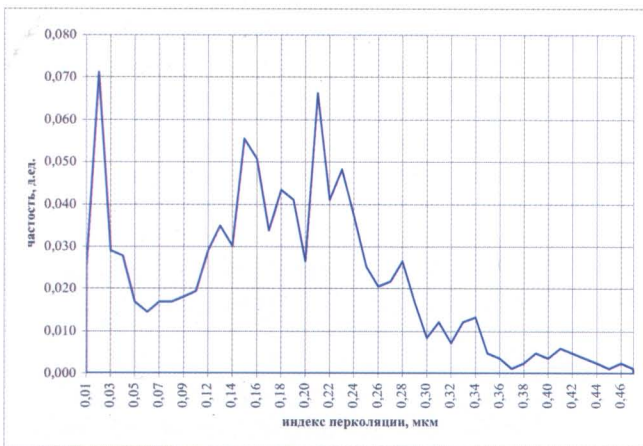


Рис. 1. Частотные распределения значений индекса перколяции

редко окатанной. Осадочный комплекс неопределенного волнистого наслоения с включениями выравненных структур зерен, слоев слюды, органических обломков. Диагенез коллекторов характеризуется ранней и поздней стадией. При этом ранний диагенез, обусловленный наличием водо-чувствительных глин и направленный на развитие зернистого покрытия кластической глины, представлен незначительно.

Поздний диагенез, обусловленный реакциями, происходящими по мере повышения давления и температуры, направлен на разложение неустойчивых структур полевого шпата, с последующим образованием агрегатов каолинита рядом с участками разложения зерен. Структура порового пространства в основном представлена первичной межзерновой пористостью и регулируется, как правило, размером зерен, хотя наличие кварцевого цемента снижает общий размер пор и диаметр поровых каналов. Таким образом, привлеченный к анализу керн представлен широким диапазоном различных литолого-фациальных свойств. Важно также отметить, что бобринские отложения характеризуются высокой степенью минералогической, структурной и текстурной неоднородности.

Методика исследований

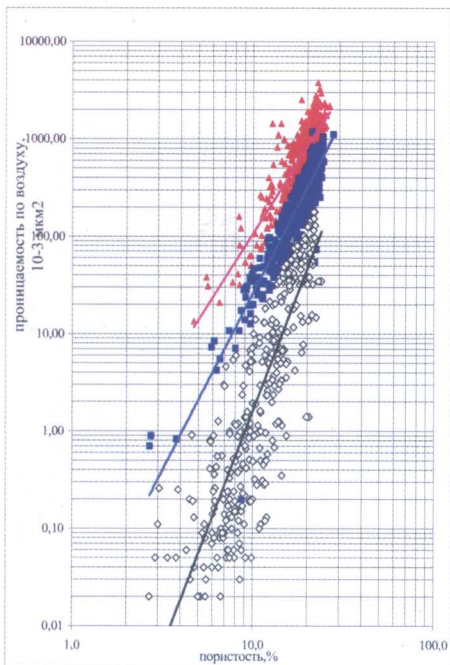
Для дифференциации положенных в основу исследований коллекторов был использован комплексный параметр – индекс перколяции (протекания) (Zhang & Salisch, 1998):

$$I_p = a (K_{пр}/K_p)^{0.5} / [K_p/(100 - K_p)], \text{ мкм} \quad (1)$$

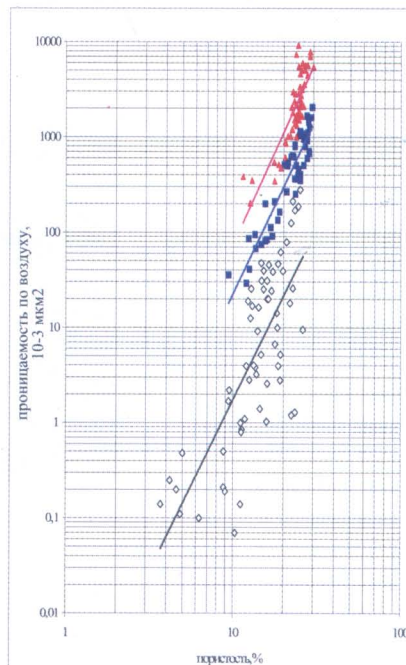
где:

$K_{пр}$ – значение абсолютной проницаемости, 10^{-3} мкм^2 ;

Девонские отложения Ново-Елховской площади



Бобринские отложения Ново-Елховской площади



Бобринские отложения Сабанчинской площади

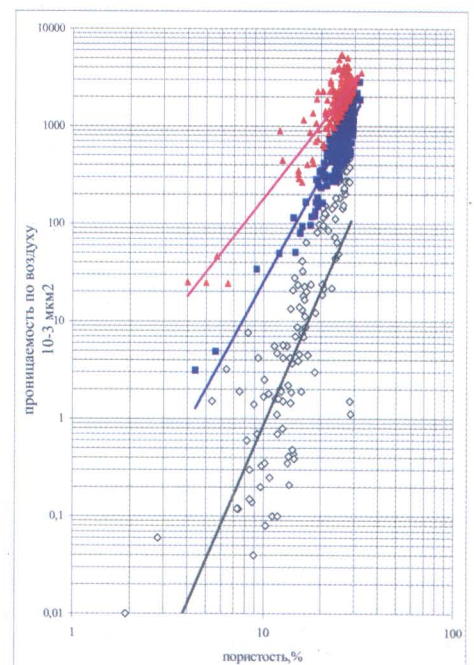


Рис. 2. Статистические зависимости проницаемости по воздуху от пористости

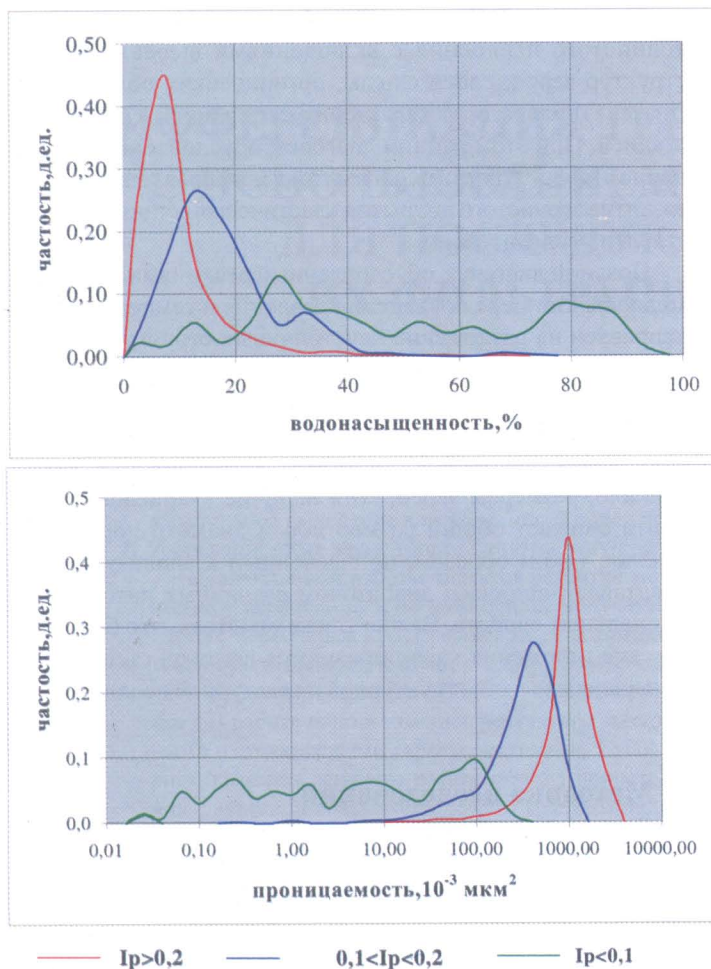


Рис. 3. Распределения водонасыщенности и проницаемости для пород девонских отложений Ново-Елховской площади.

Кп – значение пористости, %;
 а – константа, учитывающая геометрию поровых каналов и форму элементов укладки (зерен).

Физический смысл индекса перколяции есть не что иное, как линейная характеристика элементов укладки (средний диаметр зерен) и имеет линейную размерность. В том или ином виде, указанный параметр можно встретить во многих работах, посвященных вопросам изучения пористых сред, например (Сургучев и др., 1984; Минский, 1951; Вайнер, 1963; Минский, 1965).

Значения индекса перколяции I_p были рассчитаны для каждого образца, а затем построены частотные распределения по массивам образцов девонских и бобринских отложений Ново-Елховской площади и бобринских отложений Сабанчинской площади (Рис. 1).

Многомодальность наблюдаемых распределений говорит о том, что в представленных выборках принимают участие несколько совокупностей (Корн Г., Корн Т., 1984; Stanley, 1973). С точки зрения петрофизики это означает неоднородность фильтрационных свойств коллекторов и возможное присутствие групп с отличительными фильтрационными свойствами. Однако, графики распределения I_p для выделенных групп коллекторов достаточно убедительно говорят о возможности использования этого классификатора для практических целей.

С учетом характера распределений индекса перко-

ляции нами выделены 3 группы коллекторов:

- с низким ($I_p < 0.1$),
- хорошим ($0.1 < I_p < 0.2$),
- высоким ($I_p > 0.2$) фильтрационным потенциалом.

Конечно, приведенные граничные значения могут несколько изменяться из-за погрешностей, обусловленных ошибками лабораторных определений параметров зерна, неравными весами выборок с различными фильтрационными свойствами и т.п. Отсутствие резких границ между выделенными группами объясняется также наличием коллекторов, попадающих по своим фильтрационным свойствам в переходные зоны.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение характера известных распределений параметров и зависимостей между ними для выделенных групп коллекторов: частотные распределения проницаемости по воздуху, пористости, параметра пористости, остаточной водонасыщенности и статистические зависимости проницаемости по воздуху от пористости (Рис. 2).

Аналитические выражения для статистических зависимостей проницаемость – пористость, объем выборок и значения полученных коэффициентов корреляции приведены в таблице.

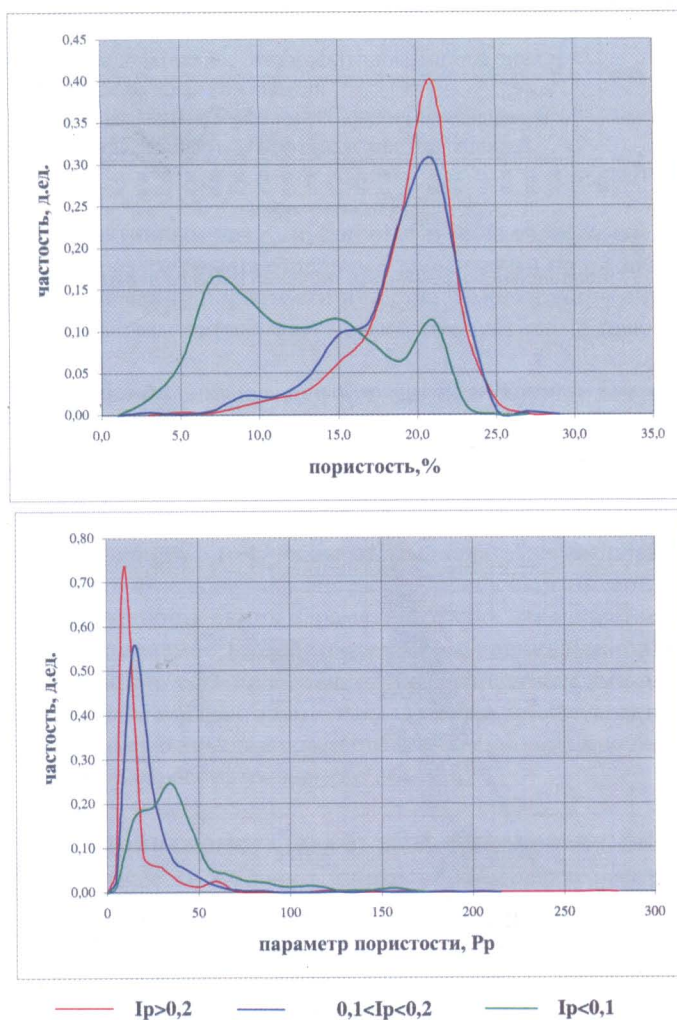


Рис.4. Распределения пористости и параметра пористости для пород девонских отложений Ново-Елховской площади.

Таблица. Аналитические выражения статистических зависимостей проницаемости по воздуху от пористости по керну для терригенных пород

Объект	Индекс перколяции	Число образцов	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Ново-Елховская площадь, горизонт Д1	> 0,2	805	$0,121 \times K_{п}^{2,96}$	0,85
	0,1 – 0,2	846	$0,006 \times K_{п}^{3,64}$	0,91
	< 0,1	390	$0,00002 \times K_{п}^{4,96}$	0,87
Ново-Елховская площадь, бобриковский горизонт	> 0,2	54	$0,009 \times K_{п}^{3,92}$	0,83
	0,1 – 0,2	55	$0,004 \times K_{п}^{3,74}$	0,94
	< 0,1	63	$0,0004 \times K_{п}^{3,62}$	0,75
Сабанчинская площадь, бобриковский горизонт	> 0,2	281	$0,55 \times K_{п}^{2,52}$	0,87
	0,1 – 0,2	231	$0,006 \times K_{п}^{3,62}$	0,90
	< 0,1	150	$2 \times 10^{-5} \times K_{п}^{4,57}$	0,79

Анализ результатов исследований

Интересные выводы следуют из анализа распределений петрофизических параметров, построенных для выделенных групп коллекторов (Рис. 3, 4).

Из приведенных распределений отчетливо видно, что при приблизительно одинаковых интервалах изменения значений, распределения остаточной водонасыщенности и проницаемости явно отличаются, в то время как характер распределения пористости и параметра пористости (которые, кстати, являются основой интерпретации ГИС), для групп пород с хорошими и высокими фильтрационными свойствами довольно близки.

Распределения параметров для коллекторов с худшими фильтрационными свойствами во всех случаях носят “размытый” многомодальный характер, что отражает полидисперсную структуру последних. И напротив, распределения параметров с высокими фильтрационными свойствами приближаются к классическому нормальному распределению с малыми значениями дисперсии.

Анализ полученных статистических зависимостей проницаемости по воздуху от пористости позволяет говорить о том, что предложенная модель коллектора хорошо согласуется с фактическими определениями по керну и может быть использована для различных геолого-физических условий. В пользу предлагаемого классификатора говорят и высокие значения коэффициентов корреляции (таблица).

Выполненные исследования являются методической пробой дифференциации фильтрационных свойств коллекторов с использованием индекса перколяции I_p . Оказалось, что использованный авторами признак дифференциации фильтрационных свойств коллекторов одинаково хорошо “работает” в различных геолого-физических условиях и успешно решает задачу неоднозначности в петрофизических зависимостях проницаемости от пористости.

Индекс перколяции, при дальнейшем совершенствовании методики, может быть успешно использован в области обеспечения работ по разработке нефтяных месторождений, в частности, в задачах прогнозных оценок продуктивности пластов и выделения эффективных интервалов в последних.

Выводы

Предложен классификатор фильтрационных свойств коллекторов. На большом объеме керна материала, представленного широким спектром литолого-фациальных свойств, проведены исследования по применению индекса перколяции.

Определены и обоснованы интервалы значений индекса перколяции для групп коллекторов с различными фильтрационными свойствами. Надежность выделенных интервалов показана на примере девонских и бобриковских терригенных коллекторов двух разных месторождений.

Предложенная авторами методика классификации фильтрационных свойств может быть широко использована в практике работ по петрофизическому обеспечению проектов разработки и интерпретации ГИС.

Литература

- Pirson, S.J. *Oil reservoir engineering*. McGraw-Hill Book Co.Inc., New-York-Toronto-London. 1958.
- Stanley, L.T. *Practical statistics for petroleum engineers*. Petroleum publishing company. Tulsa. 1973.
- Zhang, Y., Salisch, H.A. Evaluation of permeability from geophysical logs in the Barrow field, Western Australia, EAGE. July, 1998. 243-250.
- Бабадаглы В.А., Изотова Т.С., Карпенко И.В., Кучерук Е.В. *Литологическая интерпретация геофизических материалов при поисках нефти и газа*. М., Недра. 1988.
- Вайнер Л.И. Статистический критерий подобия при фильтрации жидкости в однородной пористой среде. *Изв. АН СССР, Механика*, 1963.
- Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. М., Наука. 1984.
- Минский Е.М. О турбулентной фильтрации в пористых средах. *Доклады АН СССР*, том LXXVIII, №3. 1951.
- Минский М.И. О некоторых характерных чертах структуры пористых сред. *Изв. АН СССР, Механика*, №5. 1965.
- Сургучев М.Л., Желтов Ю.В., Симкин Э.М. *Физико-химические микропроцессы в нефтегазоносных пластах*. М., Недра. 1984.