

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ЭФФЕКТОВ В СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Н.Н. Михайлов¹, В.И. Полищук²,
1 – РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2 – ИПНГ РАН,
e-mail: folko200@mail.ru

Как показали проведенные экспериментальные исследования, в ряде случаев фильтрационно-емкостные свойства, определенные на керне, зависят от объемов исследуемого керна [1]. Однако для некоторых образцов керна масштабный эффект обнаружен не был. Для выявления статистических закономерностей проявления масштабных эффектов была исследована представительная выборка. Исследовались значения открытой пористости и абсолютной проницаемости на образцах из обеих коллекций. Результаты определений представлены на рис. 1 и 2.

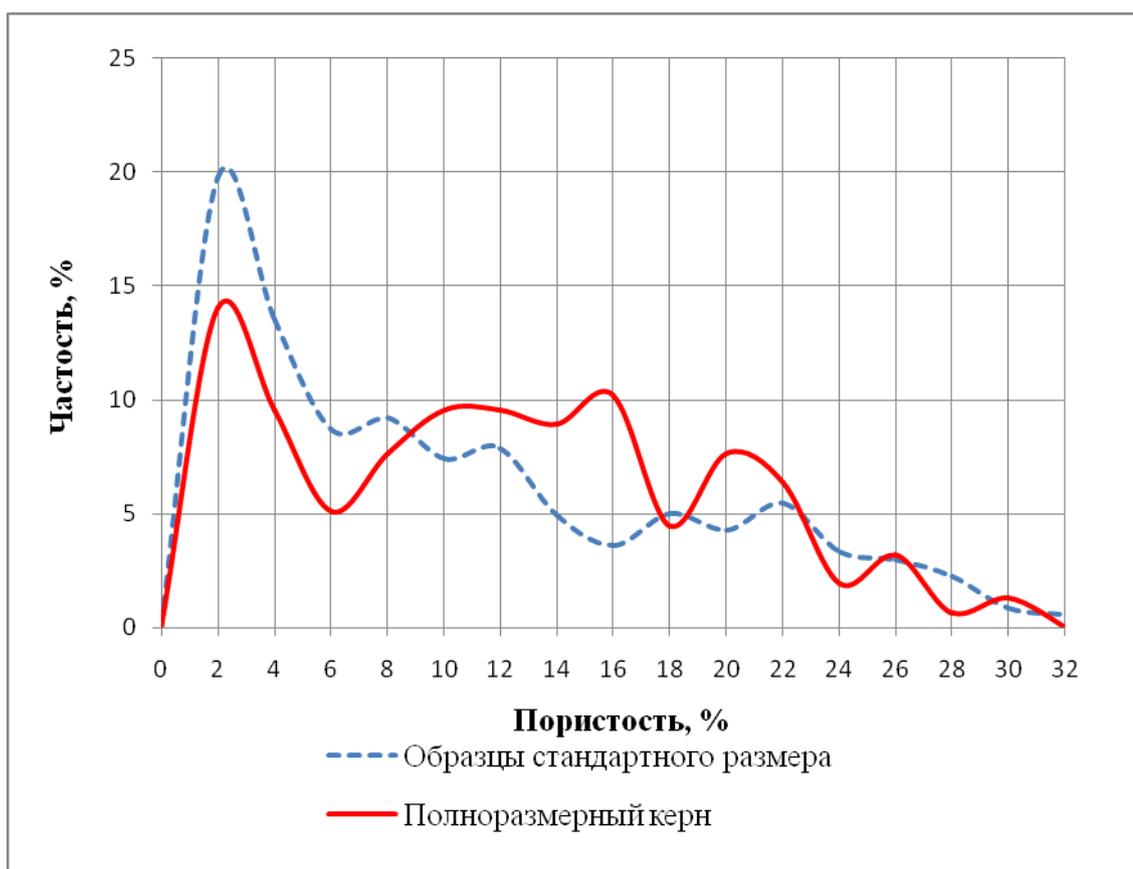


Рис. 1. Распределение пористости для образцов стандартного размера и полноразмерного керна



Рис. 2. Распределение проницаемости для образцов стандартного размера и полноразмерного керна

Анализ полученных распределений демонстрирует, что пористость исследуемой коллекции менялась от 0 до 32%. Для стандартного керна ($n=1078$) среднее значение пористости составляет 9,83%, для полноразмерного – 10,87% ($n=367$). Характер распределения пористости по стандартному и полноразмерному кернам демонстрирует неравнозначность различия диапазонов значений пористости. В области низких значений пористости, до 8%, образцы стандартного размера дают большую частоту, по сравнению с полноразмерным керном. Это, очевидно, связано с недостаточной представительностью стандартных образцов в этом диапазоне пористости.

В области пористости ~8–22% частота значений пористости по полноразмерному керну, как правило, выше, чем по стандартному размеру. Это указывает на большую информативность определений по полноразмерному керну.

При дальнейшем росте пористости различия в значениях пористости по стандартному и полноразмерному керну нивелируются.

Важно отметить близость значений дисперсии распределений по полноразмерному и стандартному кернам. В то же время значения коэффициентов вариации по полноразмерному керну ниже (0,65), чем по керну стандартного размера (0,74).

Таким образом, статистический анализ распределений пористости указывает на большую презентативность полноразмерного керна в диапазоне средних значений пористости.

Статистический анализ проницаемости демонстрирует отличающиеся результаты. Образцы стандартного размера дают средние значения проницаемости $333,3 \cdot 10^{-3}$ мкм² ($n=1006$), а образцы полноразмерного керна характеризуются средними значениями $702,6 \cdot 10^{-3}$ мкм² ($n=251$). Значения дисперсии получились близкими, а значения коэффициента вариации для полноразмерного керна (2,39) в два раза меньше, чем для образцов стандартного размера (5,7).

Из сказанного следует, что проявление масштабного эффекта при определении абсолютной проницаемости более значимо, чем при определении пористости.

Отличается и характер распределений проницаемости (рис. 2). Максимальные различия в частотах наблюдаются в области низких значений проницаемости (0,001–0,1 мд). Здесь доля значений проницаемости по полноразмерному керну стремится к нулю. В диапазоне проницаемостей от 01 до 10 мд различия в определениях проницаемости по стандартному и полноразмерному кернам практически нивелируются. Начиная с проницаемости в 10 мд различия в частотах значений проницаемости возрастают по мере роста проницаемости.

Специфика поведения проницаемости объясняется сложным строением коллектора и наличием пор различного типа: гранулярных, трещинных и кавернозных. Области малых значений проницаемости представлены трещинным типом пористости, что и определяет значительные различия стандартных и крупномасштабных определений. В диапазоне 0,1–10 мд преобладает гранулярный тип пористости, а при увеличении проницаемости начинает преобладать кавернозно-трещинный тип пористости. Стандартные определения для этого типа пористости малоинформативны.

Экспериментальное изучение влияния масштабного эффекта на характеристики двухфазной фильтрации

В предыдущих исследованиях были получены следующие результаты.

1. Влияние масштабных эффектов проявляется в особенностях вида относительной фазовой проницаемости (ОФП) [2].

2. Структура порового пространства является определяющим фактором в проявлении масштабных эффектов [3].

3. Масштабные эффекты влияют на значения ОФП в крайних точках [1, 2]. В результате исследований, проведенных в 2013 году, выявлено, что масштабный эффект влияет на коэффициент вытеснения нефти водой: с ростом объема испытуемого образца коэффициент вытеснения увеличивается (рис. 3).

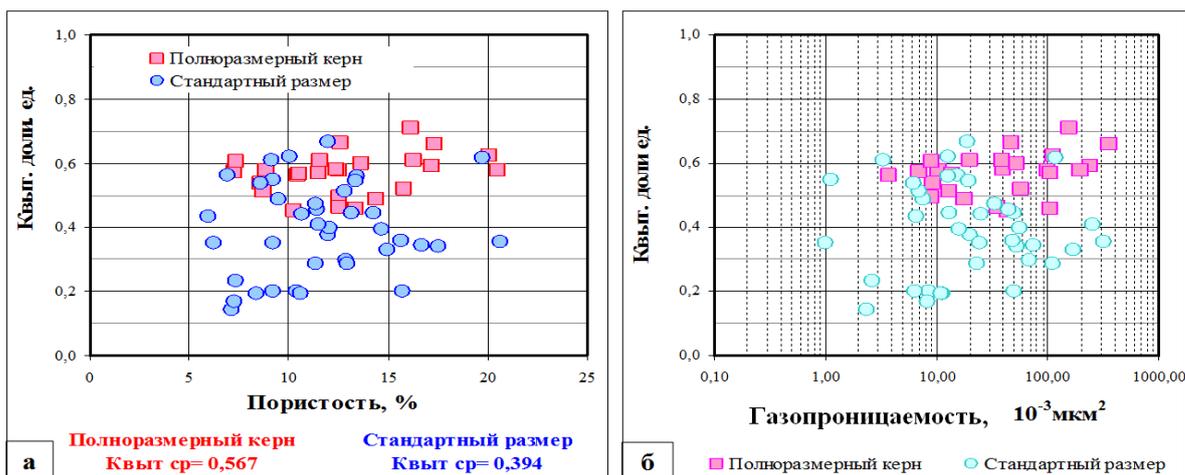


Рис. 3. Сопоставление результатов определения коэффициента вытеснения с пористостью (а) и проницаемостью (б), вязкость нефти 4,604 мПа*с

Обоснование и экспериментальное подтверждение влияния масштабного эффекта на коллекторские и поверхностные свойства сложнопостроенных коллекторов

Изучение поверхностных свойств проводилось на примере сложнопостроенных карбонатных отложений. Смачиваемость пород определена согласно ОСТ 39-180-85. Метод предусматривает определение параметра, выражающего интегральную характеристику смачиваемости пород по данным капиллярного впитывания в образец воды и керосина при атмосферных условиях и в гравитационном поле при центрифугировании.

Разрез представлен следующими типами пород.

Известняки органогенно-детритовые (в том числе биоморфно-детритовые, шламово-детритовые и сгустково-комковато-детритовые) полидетритовые.

Известняки биогермные или биогермного облика:

Доломиты вторичные (микро-, микро-тонко- и тонкозернистые) известковистые (преимущественно 5–15%), редко известковые (до 40%), неравномерно окремненные.

Определение показателя смачиваемости было произведено дважды: сначала на неэкстрагированном, свежем керне, а затем после экстракции.

Характеристика поверхности пород по диапазону значений показателя смачиваемости приведена в таблице.

Диапазон значений показателя смачиваемости	Характеристика поверхности
0,0 – 0,2	гидрофобная
0,2 – 0,4	преимущественно гидрофобная
0,4 – 0,6	промежуточной смачиваемости
0,6 – 0,8	преимущественно гидрофильная
0,8–1,0	гидрофильная

В целом по разрезу показатель смачиваемости неэкстрагированных образцов варьировал в пределах 0,02–0,99, среднее значение 0,36. Изученный разрез можно характеризовать как чередование гидрофобных пород с породами промежуточной смачиваемости и гидрофильными породами (рис. 4).

После экстракции значения показателя смачиваемости для всего разреза находятся в пределах 0,01–0,89, среднее значение 0,24 (рис. 5, 6).

Показатель смачиваемости гидрофобных и преимущественно гидрофобных пород (38 определений) до экстракции меняется в пределах 0,02–0,40, среднее значение 0,21; после экстракции: 0,01–0,78, среднее значение 0,26.

Показатель смачиваемости пород промежуточной смачиваемости (6 определений) до экстракции меняется в пределах 0,41–0,55, среднее значение 0,47; после экстракции: 0,06–0,89, среднее значение 0,27.

Показатель смачиваемости преимущественно гидрофильных и гидрофобных пород (12 определений) до экстракции меняется в пределах 0,62–0,99, среднее значение 0,80; после экстракции 0,06–0,65, среднее значение 0,16. Среднее значение пористости составило 10,40%.

Таким образом, наибольшее влияние экстракция оказала на гидрофильные породы, в результате произошла гидрофобизация этих пород.

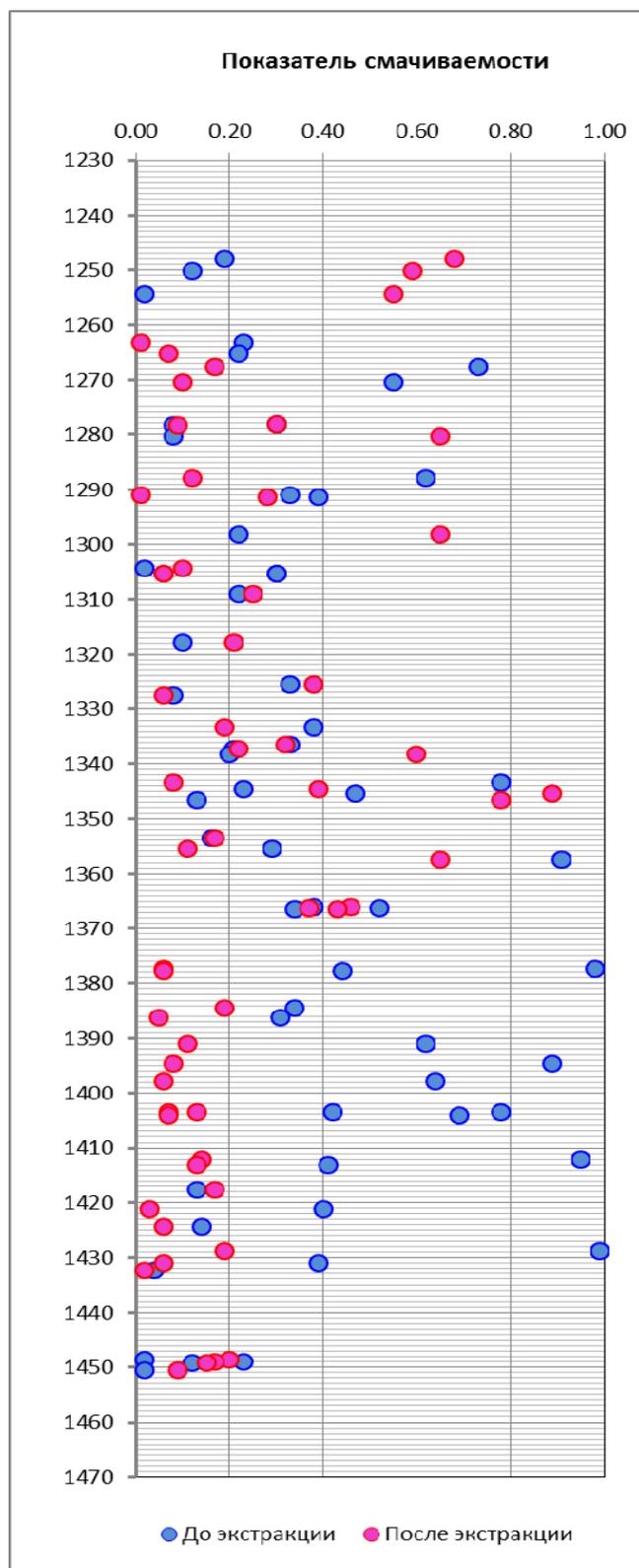


Рис. 4. Изменение смачиваемости по глубине

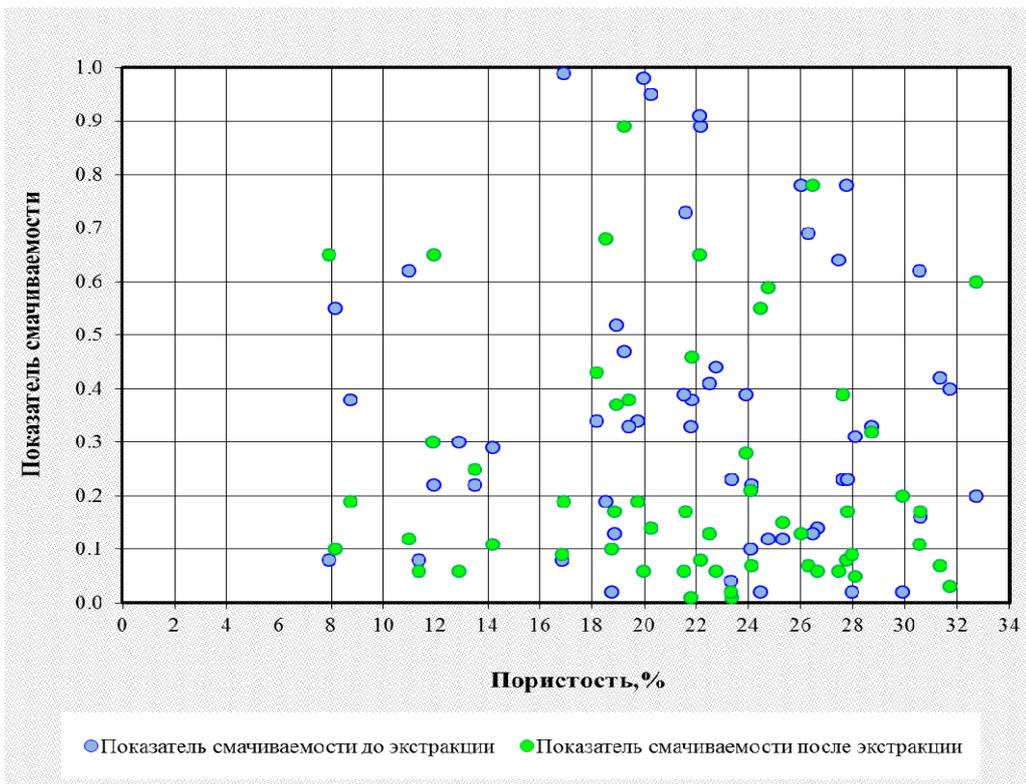


Рис. 5. Сопоставление показателя смачиваемости и пористости

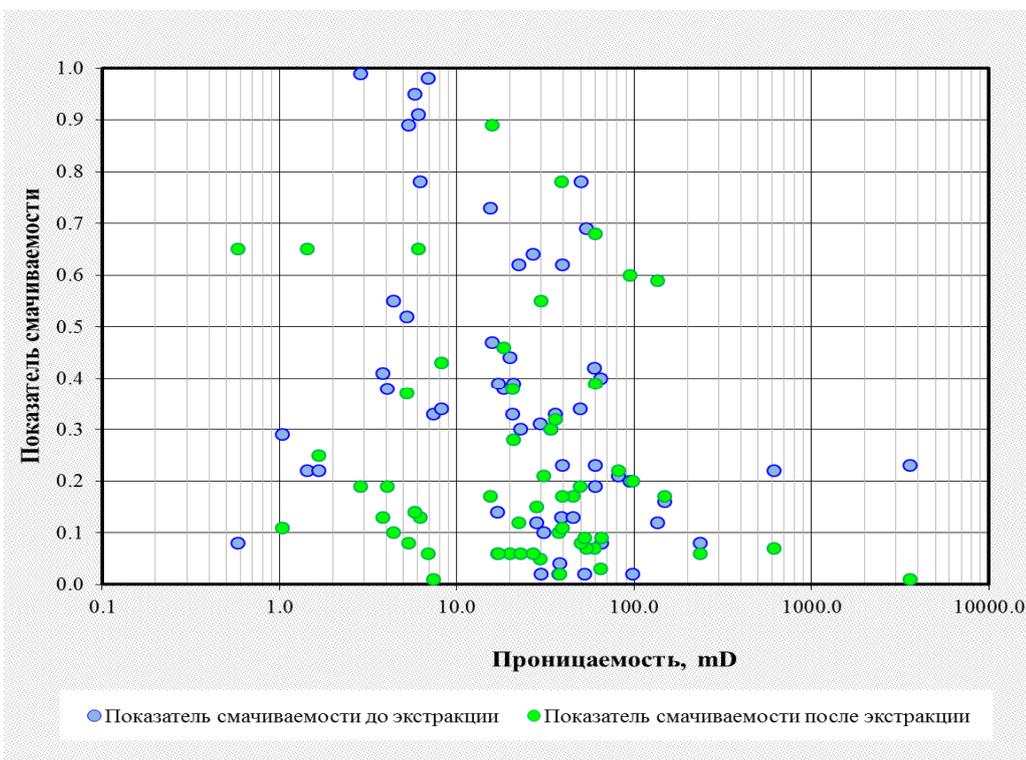


Рис. 6. Сопоставление показателей смачиваемости и проницаемости

Из анализа проведенных исследований следует, что показатель смачиваемости контрастно меняется по глубине разреза. На небольшом интервале коллектор проявляет как гидрофильную, так и гидрофобную характеристики. Это предопределяет возможность проявления масштабного эффекта при использовании образцов разного размера и ориентации.

Отсутствует корреляция между показателем смачиваемости и коллекторскими свойствами. Экстракция образцов не приводит к качественным изменениям показателя смачиваемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гурбатова И.П., Михайлов Н.Н.* Масштабные и анизотропные эффекты при экспериментальном определении физических свойств сложнопостроенных коллекторов // НТВ Каротажник. 2011. Вып.7. С. 138–145.

2. *Михайлов Н.Н., Гурбатова И.П.* Экспериментальное изучение влияния масштабных эффектов на характеристики двухфазной фильтрации // Электрон. науч. журнал «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика». 2012. Вып. 1(5). – Режим доступа: <http://oilgasjournal.ru>.

3. *Гурбатова И.П., Михайлов Н.Н.* Анализ информативности различных методик определения емкостных свойств карбонатных пластов со сложным типом пористости // Вестн. ЦКР РОСНЕДРА. 2008. № 2. С. 52–56.