

УДК 550.8.023

ЮРЬЕВ Александр Вячеславович, аспирант, заведующий лабораторией инновационно-технологического центра арктических нефтегазовых лабораторных исследований института нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 4 научных публикаций

ЧИЖОВ Денис Борисович, заведующий лабораторией Центра исследования керн и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми. Автор одной научной публикации

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ОСТАТОЧНОЙ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОБРАЗЦАХ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО КЕРНА

В статье описывается порядок проведения и результаты исследований в лабораторных условиях по моделированию остаточной водонасыщенности различными методами, а также результаты исследований и выводы, сделанные при интерпретации петрофизических данных. Целью исследований является получение петрофизических данных на основании лабораторных исследований, корреляция, анализ и разработка рекомендаций по созданию остаточной водонасыщенности наиболее подходящим методом для лабораторий с массовыми специальными исследованиями керн с сохраненным диаметром бурения. Для исследований были подобраны образцы полноразмерного керн по двум скважинам двух месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции диаметром 100 мм и длиной 100 мм. Они также характеризовались различными фильтрационно-емкостными свойствами и типом коллектора.

Данная работа актуальна для проведения петрофизических исследований на керновом материале, т. к. на сегодняшний день отсутствуют нормативные документы, регламентирующие проведение работ на полноразмерном керне. Нами были использованы три метода создания остаточной водонасыщенности: капиллярная вытяжка, сушка и метод капилляриметрии. В результате были получены данные для интерпретации исследований и анализа. По итогам исследований был определен наиболее предпочтительный метод по созданию остаточной воды для лабораторий с массовыми потоковыми исследованиями полноразмерного керн. Это метод капиллярной вытяжки, т. к. он занимает меньшее время по сравнению с капилляриметрическим методом и дает более качественный результат по сравнению с сушкой образцов в сушильном шкафу. Кроме того, он более эффективен и требует меньших затрат по сравнению с другими методами.

Ключевые слова: остаточная водонасыщенность, капиллярная вытяжка, капилляриметрия, образцы полноразмерного керн.

Остаточная водонасыщенность имеет большое значение при проведении специальных исследований образцов керн, таких как определение относительных фазовых проницаемостей и коэффициента вытеснения нефти водой. На данный момент существует методика создания остаточной водонасыщенности для образцов стандартного размера диаметром 30 мм капилляриметрическим методом при помощи полупроницаемой мембраны, регламентируемая ОСТом 39-204-86 [1]. Однако при проведении специальных исследований в сложнопостроенных коллекторах образцы стандартного размера не в полной мере отражают структуру порового пространства. В этом случае целесообразно использовать образцы с сохраненным диаметром 67, 100, 110 мм, но на сегодняшний день отсутствуют нормативные документы, регламентирующие данные работы. Существующий метод капилляриметрии в меньшей степени применим для полноразмерных образцов кернов в силу их геометрических размеров и массы, т. к. требует длительного промежутка времени по сравнению с исследованием образцов стандартного размера.

Целью работы является разработка на основе лабораторных исследований на полноразмерном керне рекомендаций и определение наиболее подходящего метода для создания остаточной водонасыщенности в лабораториях с массовыми специальными исследованиями керн с сохраненным диаметром, который должен быть эффективным и менее затратным по сравнению с другими методами.

Для проведения исследований была отобрана коллекция образцов с сохраненным диаметром 100 мм и длиной 100 мм из кернового материала по двум скважинам месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции порового типа коллектора 5 групп со значениями коэффициента проницаемости по газу: менее $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, $1-10 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, $10-50 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, $50-100 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, $>100 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$; со значением коэффициента пористости от 5,23 до 17,56 %. По значению коэффициента пористости образцы были разделены на

4 группы по 4 образца в каждой группе (2 образца карбонатных отложений и 2 образца терригенных отложений), в сумме 20 образцов керн.

Образцы по первой скважине: тип разреза карбонатный, преобладают известняки микробиаально-детритовые, участками в различной степени доломитизированные до доломитов вторичных кристаллически-зернистых. Породы серого, темно-серого цвета с участками до черного цвета. Карбонаты неравномерные по плотности и крепости, стилолитизированные.

Образцы по второй скважине: тип разреза терригенный, в составе отложений присутствуют главным образом песчаники мономинеральные, переслаивающиеся с аргиллитами и через переходные разности (алевропесчаники) переходящие в алевролиты. Породы неравномерно карбонатизированы.

На подготовительном этапе для проведения исследований образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Затем перед взвешиванием их охлаждали в эксикаторах над прокаленным хлористым кальцием или высокодисперсным силикагелем, в этих же эксикаторах они хранились до насыщения рабочей жидкостью [2]. Определялся коэффициент пористости газометрическим способом в процентах. В качестве жидкости насыщения использовался минерализованный раствор с концентрацией NaCl 30 г/л.

Сухие взвешенные образцы по 4 штуки одновременно в один ряд помещались в камеру насыщения установки по насыщению образцов, предварительно залитую на половину рабочей жидкостью, на специальную площадку, подвижную в вертикальном направлении, таким образом, чтобы не было контакта образцов с рабочей жидкостью. Сухие образцы раздельно вакуумировали с насыщающей жидкостью в течение 24 ч, затем опускали в рабочую жидкость наполовину для капиллярной пропитки на 0,5 ч. По окончании капиллярной пропитки опускали образцы таким образом, чтобы уровень рабочей жидкости был выше



Рис. 1. Образец, обернутый в фильтровальную бумагу, пропитанную соевым раствором, и образец в эксикаторе с мелкодисперсной средой

поверхности образцов не менее чем на 1 см, и вакуумировали совместно еще 22 ч. Затем, постепенно снижая вакуум, оставляли образцы в камере насыщения при атмосферном давлении на 8 ч. Далее образцы извлекали из камеры насыщения, определялся вес – гидростатический и при атмосферных условиях. При повторном насыщении для последующих экспериментов образцы высаливались, высушивались, и насыщение проводилось по аналогичной методике.

Все образцы достигали практически 100 % насыщения – по отношению объема впитавшейся жидкости к объему пор, определенному газовольметрическим способом.

Для моделирования остаточной водонасыщенности методом капиллярной вытяжки в мелкодисперсной среде насыщенные образцы обворачивались по всей поверхности в фильтровальную бумагу, пропитанную соевым раствором (рис. 1). Затем они помещались в

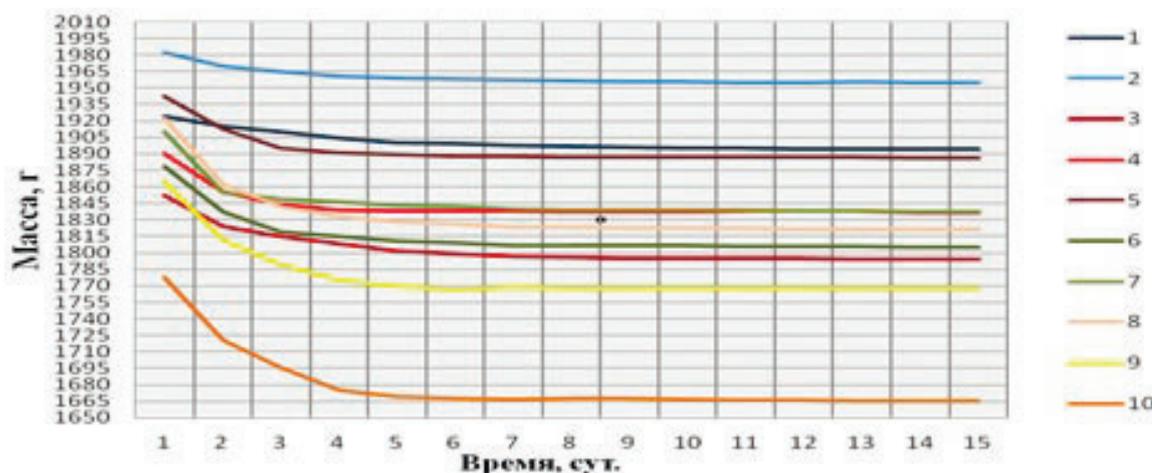


Рис. 2. Динамика уменьшения веса в группе карбонатных отложений: 1, 2 – образцы с $K_{\text{пор}} = 5,17 - 5,23 \%$; 3, 4, 5 – образцы с $K_{\text{пор}} = 8,81 - 9,70 \%$; 6, 7 – образцы с $K_{\text{пор}} = 11,37 - 11,39 \%$; 8, 9, 10 – образцы с $K_{\text{пор}} = 14,0 - 17,46 \%$

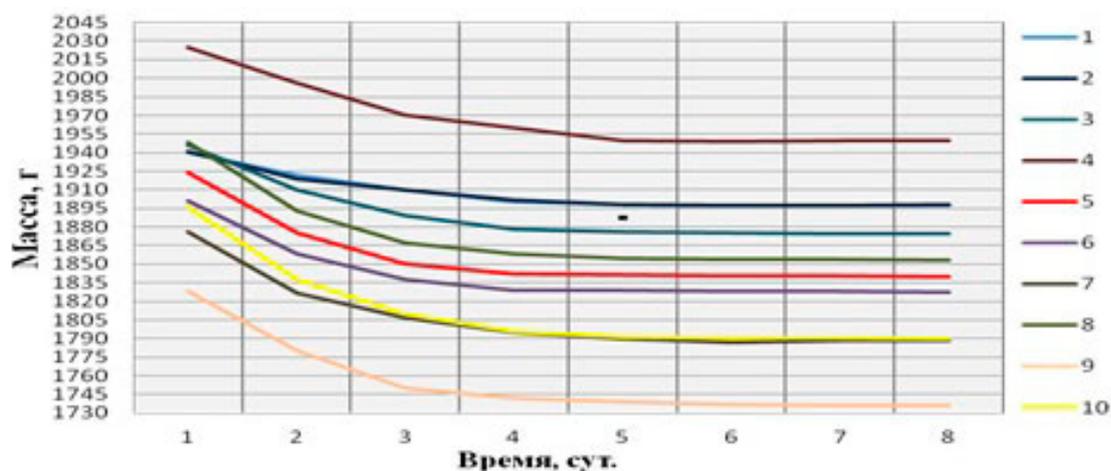


Рис. 3. Динамика уменьшения веса в группе терригенных отложений: 1, 2, 3 – образцы с $K_{пор} = 9,22–9,87\%$; 4, 5 – образцы с $K_{пор} = 10,98–11,57\%$; 6, 7, 8 – образцы с $K_{пор} = 12,54–12,76\%$; 9, 10 – образцы с $K_{пор} = 14,37–15,15\%$

эксикаторы с мелкодисперсной средой, эксикатор закрывался крышкой, в качестве мелкодисперсной среды использовался предварительно увлажненный мел. Каждые сутки образцы взвешивались и помещались обратно в эксикаторы до достижения постоянной массы с остаточной водой до момента, пока не прекращалось снижение массы.

Моделирование остаточной водонасыщенности по карбонатным отложениям заняло примерно 6-7 сут., а по терригенным отложениям – примерно 5-6 сут. Динамика уменьшения веса представлена на рис. 2, 3.

Для базы сравнения эти же образцы высаливались, сушились и повторно насыщались по аналогичной методике.

При проведении исследований по моделированию остаточной водонасыщенности методом капиллярной вытяжки в мелкодисперсной среде было установлено примерное время этого процесса для карбонатных и терригенных отложений, построены графики динамики уменьшения веса в процессе моделирования. Они показывают, что остаточная вода методом капиллярной вытяжки моделируется на 5–6-е сутки эксперимента, а в дальнейшем происходит

процесс естественного усыхания с незначительным уменьшением веса.

На образцах из обоих месторождений было получено значение остаточной водонасыщенности капилляриметрическим методом без снятия полной кривой капиллярного давления (рис. 4). Для этого использовались групповые капилляриметры и керамические полупроницаемые мембраны с давлением прорыва 15 атм [3]. Сразу же было создано максимальное давление 1,2 МПа. Время выдержки до прекращения вытеснения по карбонатным отложениям составило 25 сут., а по терригенным отложениям – 20 сут.

Аналогично для базы сравнения эти же образцы высаливались, сушились и повторно насыщались по аналогичной методике; затем на них была создана остаточная водонасыщенность методом высушивания. Для этого насыщенные образцы помещались в сушильный шкаф при температуре 105 ± 2 °С. Далее они с определенной периодичностью охлаждались, затем, по достижении комнатной температуры, взвешивались, пока не обретали в охлажденном виде постоянный вес. Моделирование остаточной водонасыщенности по карбонат-

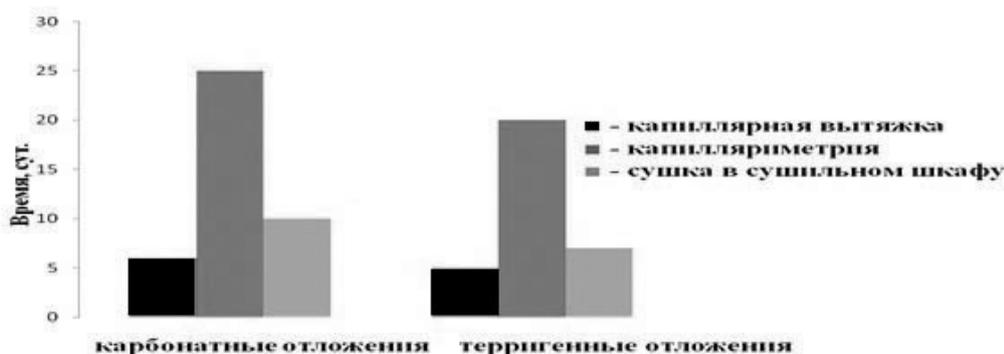


Рис. 4. Результирующая диаграмма по времени создания остаточной водонасыщенности

ным отложениям заняло 10 сут., а по терригенным отложениям – 7 сут.

На основе проведенных исследований построена результирующая диаграмма по времени создания остаточной водонасыщенности на образцах керна с сохраненным диаметром 100 мм различными методами (рис. 4).

На основании проведенных исследований существующих методов по моделированию остаточной воды наиболее предпочтительным для лабораторий с массовыми потоковыми исследованиями полноразмерного керна является метод капиллярной вытяжки, т. к. он требует меньше времени по сравнению с капилляриметрическим методом и дает более точные результаты по сравнению с сушкой образцов в сушильном шкафу.

При создании остаточной водонасыщенности методом сушки в сушильном шкафу происходит неравномерное и неконтролируемое испарение минерализованного раствора и, со-

ответственно, кристаллизация соли в поровом пространстве и на поверхности образца, что, предположительно, приводит к закупорке мелких поровых каналов и оказывает влияние на фильтрационно-емкостные свойства породы. Метод капилляриметрии является более достоверным из перечисленных, но наиболее затратным по времени, что не совсем приемлемо для лабораторий с массовыми потоковыми исследованиями полноразмерного керна.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным, качественным и менее затратным по времени является метод капиллярной вытяжки. Моделирование остаточной водонасыщенности методом капиллярной вытяжки с применением мелкодисперсной среды на полноразмерном керне с сохраненным диаметром 100 мм можно рекомендовать для использования в лабораториях с массовыми специальными и потоковыми исследованиями.

Список литературы

1. ОСТ 39-204-86 Нефть. Метод лабораторного определения остаточной водонасыщенности коллекторов нефти и газа по зависимости насыщения от капиллярного давления. Введ. 1987.01.01. М., 1986. С. 26.
2. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрофизическими методами / под ред. В.И. Горояна. М., 1978. С. 396.
3. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород: учеб. пособие для вузов. М., 2007. С. 592.

References

1. OST 39-204-86 *Neft'*. Metod laboratornogo opredeleniya ostatochnoy vodonasyshchennosti kollektorov nefti i gaza po zavisimosti nasyshcheniya ot kapillyarnogo davleniya [Industrial Standard 39-204-86 Oil. The Laboratory Method for Determining Residual Water Saturation of Oil and Gas from the Dependence of the Saturation on the Capillary Pressure]. Moscow, 1986. 26 p.
2. Metodicheskie rekomendatsii po issledovaniyu porod-kollektorov nefti i gaza fizicheskimi i petrofizicheskimi metodami [Guidelines for the Study of Reservoir Rocks of Oil and Gas by Physical and Petrophysical Methods]. Ed. by V.I. Goroyan. Moscow, 1978. 396 p.
3. Gudok N.S., Bogdanovich N.N., Martynov V.G. *Opredelenie fizicheskikh svoystv neftevodosoderzhashchikh porod: ucheb. posobie dlya vuzov* [Determination of Physical Properties of Petroliferous Aqueous Rocks]. Moscow, 2007. 592 p.

Yur'ev Aleksandr Vyacheslavovich

Institute of Oil and Gas, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Chizhov Denis Borisovich

Research Center of Core and Reservoir Fluids,
Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "PermNIPIneft" (Perm, Russia)

RECOMMENDATIONS ON THE RESIDUAL WATER SATURATION MODELING IN LABORATORY CONDITIONS UPON WHOLE CORE SAMPLES

The paper describes the methodology, procedure and results of the studies conducted in laboratory conditions in the residual water saturation modeling in various ways as well as the results of the studies and conclusions of translation of petrophysical data. The mission of the paper is petrophysical data acquisition on the basis of the laboratory research, correlation, analysis and development of recommendations for the residual water saturation modeling by the most suitable method for the laboratories involved in mass stream oriented research of a whole core with preserved diameter of drilling. For the research the whole core samples with preserved diameter of 100 mm and length of 100 mm from two wells of the Timan-Pechora oil and gas province were selected. The samples were defined by various filter and capacitive features and a type of a pore header.

This paper is timely for the core petrophysical research conducting as to date there are no regulations governing the works upon a whole core. We used three methods of the residual water saturation modeling: capillary desaturation, kilning and a capillarimetric method. As a result the data for the research translation and analysis were obtained. On the basis of the study the most convenient method of the residual water modeling for the laboratories involved in mass stream oriented research of a whole core was determined. The method of capillary desaturation is defined as favorite as in comparison with a capillarimetric method it takes less time and more effective than kilning. This method is more effective and cheaper in comparison with the others.

Keywords: residual water saturation, capillary desaturation, capillarimetric method, whole core samples.

Контактная информация:

Юрьев Александр Вячеславович

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 14;

e-mail: a.yurjev@narfu.ru

Чижов Денис Борисович

адрес: 614065, г. Пермь, ул. Советской армии, д. 29;

e-mail: Denis.Chizhov@pnn.lukoil.com

Рецензент – Губайдуллин М.Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой транспорта, хранения нефти, газа и нефтегазопромыслового оборудования, заместитель директора по научной работе института нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова