

НАСЫЩЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО КЕРНА ВОДОЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*А.В. Юрьев**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(г. Архангельск)

На сегодняшний день отсутствуют нормативные документы, регламентирующие проведение петрофизических исследований на полноразмерном керне. Цель работы – на основании лабораторных исследований разработать рекомендации по насыщению водой образцов полноразмерного керна наиболее подходящим методом. Для изучения использовали образцы керна с сохраненным диаметром бурения (полноразмерный керн), отобранные с двух скважин месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Образцы, подобранные в коллекцию, характеризовались следующими геометрическими размерами: диаметр 100 мм и длина 100 мм, а также различными фильтрационно-емкостными свойствами и типами коллектора. Насыщение образцов водой проводили двумя методами: без давления и под давлением. В результате исследований определены оптимальные режимы совместного и раздельного вакуумирования при насыщении водой образцов керна для лабораторий с массовыми потоковыми исследованиями. В частности, показано, что использование метода под давлением значительно сокращает время насыщения полноразмерного керна. Увеличение времени раздельного вакуумирования сухих образцов и насыщающей жидкости более эффективно, чем совместное вакуумирование. Установлено, что до 100 %-го насыщения полноразмерных образцов керна требуется: для карбонатных отложений – 32 ч без давления и 6 ч под давлением; для терригенных – 16 и 4 ч соответственно.

Ключевые слова: насыщение образцов керна водой, вакуумирование образцов керна, полноразмерный керн.

Неотъемлемой частью комплекса исследований керна является процесс насыщения образцов, от качества которого зависит достоверность специальных исследований на керновом материале. Насыщение керна различными

флюидами – это первоначальный этап подготовки керновых образцов к исследованиям [1], заключающийся в заполнении всех пор, трещин и других пустот жидкостью насыщения под вакуумом [2–6].

Контактное лицо: Юрьев Александр Вячеславович, *адрес:* 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 14; *e-mail:* a.yurjev@narfu.ru

Для цитирования: Юрьев А.В. Насыщение образцов полноразмерного керна водой в лабораторных условиях // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 2. С. 98–103. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.98

В настоящее время на территории Российской Федерации действуют ГОСТ 26450.1–85¹ и ОСТ 39-195–86², которые распространяются на образцы керна массой менее 800 г. Масса образцов полноразмерного керна в среднем составляет 2 000 г, что исключает возможность руководствоваться данными стандартами при процедуре их насыщения. Кроме того, ГОСТ 26450.1–85 рекомендует: раздельное вакуумирование образцов в течение 3 ч, капиллярную пропитку – 0,5 ч, а насыщение – 24–48 ч при атмосферном давлении и 1 ч под давлением. Как показывает практика, в лабораторных условиях раздельного вакуумирования в течение 3 ч недостаточно для полного насыщения образцов полноразмерного керна. Таким образом, режимы, пригодные для образцов керна стандартного размера, не могут быть использованы для образцов полноразмерного керна.

Цель работы – разработка рекомендаций по насыщению полноразмерного керна водой в лабораторных условиях с обоснованием времени совместного и раздельного вакуумирования образцов и насыщающей жидкости, а также донасыщения под давлением образцов полноразмерного керна и полного (100 %-го) насыщения жидкостью.

Материалы и методы. Для проведения исследований использовали ручной сатуратор MS-535 (рис. 1) производства «Coretest Systems, Inc.» (США), обеспечивающий современный способ насыщения образцов керна жидкостями. Панель управления системы оснащена пневматическим высоконапорным насосом для насыщения образцов керна под давлением до 14 МПа. Процесс насыщения состоит из нескольких этапов: загрузка образцов, раздельное вакуумирование, последующее заполнение камеры жидкостью для насыщения.

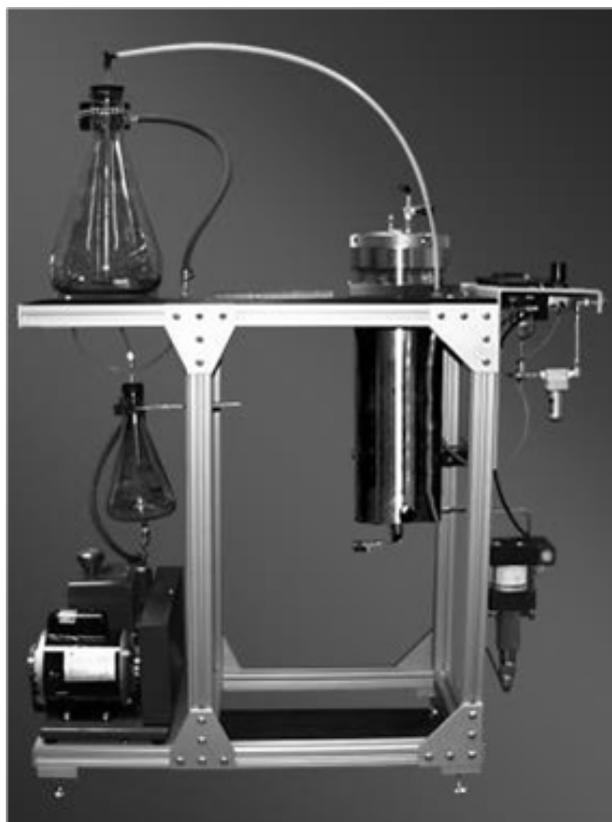


Рис. 1. Ручной сатуратор MS-535

Для исследований были отобраны (согласно ГОСТ 26450.0–85³) образцы полноразмерного керна с сохраненным диаметром бурения (100 мм) длиной 100 мм из керна материала с двух скважин месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции порового типа коллектора:

1. Скважина № 4ОЦ Восточно-Ламбейшорского месторождения. Интервал отбора 2 295,00–3 822,30 м. Тип разреза – карбонатный с преобладанием известняков микробильно-

¹ГОСТ 26450.1–85. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением. Введ. 1986–07–01. Доступ из справ. системы «NormaCS».

²ОСТ 39-195–86. Нефть. Метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в лабораторных условиях. Введ. 1987–01–01. Там же.

³ГОСТ 26450.0–85. Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств. Введ. 1986–07–01. Там же.

детритовых, участками в различной степени доломитизированных до доломитов вторичных кристаллически-зернистых. Породы – серого, темно-серого, участками до черного цвета. Карбонаты неравномерные по плотности и крепости, стилолитизированные [7, 8]⁴.

2. Скважина № 2106 Перевозного месторождения. Интервал отбора 3 316,00–3 361,00 м (долбление 5-7). 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 [9, 10].

Всего с двух скважин было отобрано 20 образцов (10 – карбонатные отложения и 10 – терригенные). Они были разбиты на 5 групп (в каждой группе – по 2 образца с каждой скважины) в соответствии со значениями коэффициента проницаемости по газу в вертикальном направлении: $<1 \cdot 10^{-3}$ мкм², $(1-10) \cdot 10^{-3}$ мкм², $(10-50) \times 10^{-3}$ мкм², $(50-100) \cdot 10^{-3}$ мкм², $>100 \cdot 10^{-3}$ мкм². При этом коэффициент пористости составлял от 5,23 до 17,56 %.

Первоначально образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С до постоянной массы. Затем перед взвешиванием образцы охлаждали в эксикаторах над прокаленным хлористым кальцием или высокодисперсным силикагелем, в этих же эксикаторах образцы хранили до насыщения рабочей жидкостью. Далее определяли коэффициент пористости (%) газовольметрическим способом.

В качестве жидкости насыщения использовали водопроводную воду плотностью 1,0 г/см³. Сухие взвешенные образцы помещали в камеру сатуратора. Образцы с насыщающей жидкостью отдельно вакуумировали с определенным интервалом времени, затем образцы заливали рабочей жидкостью наполовину для

капиллярной пропитки на 0,5 ч. После окончания капиллярной пропитки образцы заливали полностью таким образом, чтобы уровень рабочей жидкости был выше не менее чем на 1 см над поверхностью образцов⁵. Далее образцы извлекали из камеры насыщения, определяли массу – гидростатическую и при атмосферных условиях.

После каждого цикла совместного и отдельного вакуумирования образцы взвешивали и высушивали в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С в течение 24 ч до достижения постоянной массы. Затем образцы снова помещали в установку насыщения с увеличением времени отдельного и совместного вакуумирования на 2 ч. Время увеличивалось в арифметической прогрессии до достижения полного (приблизненного практически к 100 %-му) насыщения. Степень насыщения вычисляли как отношение объема впитавшейся жидкости к объему пор, определенному газовольметрическим способом.

Аналогично для сравнения эти же образцы на этапе совместного вакуумирования находились под давлением 10 МПа в установке насыщения. Время совместного насыщения увеличивалось в арифметической прогрессии до достижения полного (приблизненного практически к 100 %-му) насыщения, интервал времени составлял 1 ч.

Результаты и обсуждение. Экспериментальным путем, на основании проведенных лабораторных исследований оптимальным было принято:

- 1) для насыщения без давления:
 - а) время совместного вакуумирования – 8 ч как для карбонатных, так и для терригенных отложений;
 - б) время отдельного вакуумирования – 24 ч для карбонатных отложений, 8 ч для терригенных отложений;

⁴Методические рекомендации по подсчету геологических запасов объемными методами / под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. М.; Тверь, 2003. 261 с.

⁵Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрофизическими методами / под ред. В.И. Горояна. М., 1978. 396 с.

- 2) для насыщения под давлением:
 а) время раздельного вакуумирования – 2 ч как для карбонатных, так и для терригенных отложений;
 б) время совместного вакуумирования – 4 ч для карбонатных отложений, 2 ч для терригенных отложений.

Результаты исследований показаны на рис. 2, 3.

Заключение. Проведенные исследования можно разбить на два этапа: 1) подбор оптимального времени раздельного вакуумирования, а также оценка влияния времени совместного вакуумирования; 2) подбор времени насыщения под давлением, для определения степени насыщения образцов объем впитавшейся жидкости сравнивался с объемом пор, полученным газовольюметрическим способом.

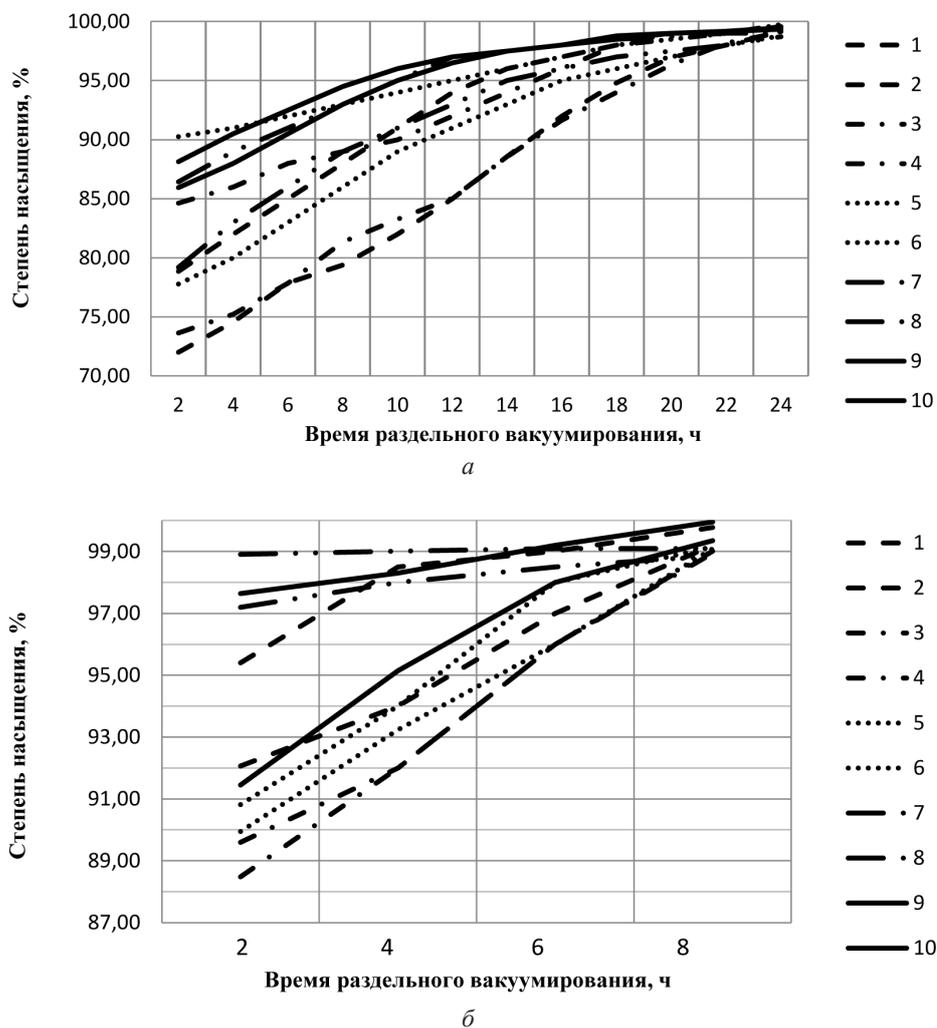


Рис. 2. Зависимость степени насыщения водой образцов полноразмерного керна от времени раздельного вакуумирования без давления в группах карбонатных (а) и терригенных (б) отложений: 1, 2 – образцы с $K_{пр} < 1 \cdot 10^{-3}$ мкм²; 3, 4 – $K_{пр} = (1-10) \times 10^{-3}$ мкм²; 5, 6 – $K_{пр} = (10-50) \cdot 10^{-3}$ мкм²; 7, 8 – $K_{пр} = (50-100) \cdot 10^{-3}$ мкм²; 9, 10 – $K_{пр} > 100 \cdot 10^{-3}$ мкм² ($K_{пр}$ – коэффициент проницаемости)

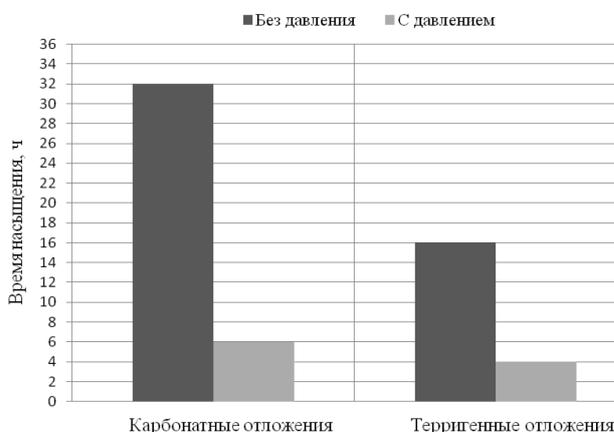


Рис. 3. Оптимальное время для насыщения водой образцов карбонатных и терригенных отложений без давления и под давлением

Использование метода насыщения образцов полноразмерного керна под давлением значительно сокращает время процесса. Исследования показали, что на степень насыщения образцов полноразмерного керна, наряду

с фильтрационно-емкостными свойствами, большое влияние оказывает структура порового пространства, что в большей степени характерно для карбонатных отложений. Таким образом, карбонатным отложениям требуется больше времени на насыщение и отдельное вакуумирование. Увеличение времени отдельного вакуумирования сухих образцов и насыщающей жидкости более эффективно, чем совместное вакуумирование.

В результате проведенных исследований были подобраны оптимальные режимы отдельного и совместного вакуумирования образцов полноразмерного керна, отработана методика для насыщения образцов в группах карбонатных и терригенных отложений с сохраненным диаметром 100 мм. Выявлено, что для полноразмерных образцов керна до 100 %-го насыщения требуется: в группе карбонатных отложений – 32 ч без давления, 6 ч под давлением; в группе терригенных отложений – 16 и 4 ч соответственно.

Список литературы

1. *Серебряков А.О.* Синергия геологоразведочных технологий исследования природных ресурсов морских акваторий: моногр. Астрахань, 2013. 229 с.
2. *Котяхов Ф.И.* Физика нефтяных и газовых коллекторов. М., 1977. 287 с.
3. *Ханин А.А.* Порода-коллекторы нефти и газа и их изучение. М., 1969. 368 с.
4. *Ермилов О.М., Ремизов В.В., Ширковский А.И., Чузунов Л.С.* Физика пласта, добыча и подземное хранение газа. М., 1996. 541 с.
5. *Амикс Дж., Басс Д., Уайтинг Р.* Физика нефтяного пласта. М., 1962. 572 с.
6. *Тулбович Б.И.* Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа. М., 1979. 199 с.
7. *Багринцева К.И.* Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М., 1999. 285 с.
8. *Багринцева К.И., Белозерова Г.Е., Вендельштейн Б.Ю., Шериуков И.В.* Исследование и оценка карбонатных коллекторов сложного строения. М., 1986. 76 с.
9. *Вильямс Х., Тернер Ф.Дж., Гилберт Ч.М.* Петрография. Введение в изучение горных пород в шлифах. М., 1957. 425 с.
10. *Шванов В.Н.* Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л., 1987. 269 с.

References

1. Serebryakov A.O. *Sinergiya geologorazvedochnykh tekhnologiy issledovaniya prirodnykh resursov morskikh akvatoriy: monogr.* [Synergy of Geological Exploration Technologies for the Study of Natural Resources of Offshore Zones]. Astrakhan, 2013. 229 p.
2. Kotyakhov F.I. *Fizika neftyanykh i gazovykh kollektorov* [Physics of Oil and Gas Collectors]. Moscow, 1977. 287 p.

3. Khanin A.A. *Porody-kollektory nefti i gaza i ikh izuchenie* [Reservoir Formations of Oil and Gas and Their Study]. Moscow, 1969. 368 p.
4. Ermilov O.M., Remizov V.V., Shirkovskiy A.I., Chugunov L.S. *Fizika plasta, dobycha i podzemnoe khranenie gaza* [Reservoir Engineering, Production and Underground Gas Storage]. Moscow, 1996. 541 p.
5. Amyx J.W., Bass D.M., Whiting R.L. *Petroleum Reservoir Engineering: Physical Properties*. New York, 1960. 610 p.
6. Tul'bovich B.I. *Metody izucheniya porod-kollektorov nefti i gaza* [Methods for Studying the Reservoir Formations of Oil and Gas]. Moscow, 1979. 199 p.
7. Bagrintseva K.I. *Usloviya formirovaniya i svoystva karbonatnykh kollektorov nefti i gaza* [Conditions of Formation and Properties of Carbonate Reservoirs of Oil and Gas]. Moscow, 1999. 285 p.
8. Bagrintseva K.I., Belozeroва G.E., Vendel'shteyn B.Yu., Shershukov I.V. *Issledovanie i otsenka karbonatnykh kollektorov slozhnogo stroeniya* [Research and Evaluation of Complex Structure Carbonate Reservoirs]. Moscow, 1986. 76 p.
9. Williams H., Turner F.J., Gilbert C.M. *Petrography: an Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. San Francisco, 1954. 626 p.
10. Shvanov V.N. *Petrografiya peschanykh porod (komponentnyy sostav, sistematika i opisaniye mineral'nykh vidov)* [Petrography of Sandy Rocks (Component Composition, Taxonomy and Description of Mineral Species)]. Leningrad, 1987. 269 p.

DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.98

*Aleksandr V. Yur'ev**

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

WATER SATURATION OF WHOLE CORE SAMPLES IN LABORATORY CONDITIONS

The relevance of this article is due to the fact, that there are no documents regulating the petrophysical studies on a whole core. The work objective is to develop recommendations on whole core samples saturation by the most suitable method on the basis of laboratory studies. Core samples with preserved drilling diameter (whole core) were chosen for the research. They were obtained in two wells in the Timan-Pechora oil and gas province. The geometric dimensions of the samples, selected to the collection were 100 mm in diameter and 100 mm in length, as well as with different filtration and reservoir properties and reservoir types. Water saturation of samples was carried out by two methods: under pressureless conditions and under pressure. As a result of the research, optimal regimes for joint and separate evacuation when water saturating of core samples for laboratories with mass flow studies were determined. The use of the underpressure method significantly reduces the saturation time of whole core. The time increment for separate evacuation of dry samples and saturating liquid is more effective than joint evacuation. Carbonate deposits should remain 32 hours under pressureless conditions and 6 hours under pressure for 100 % saturation of whole core samples; terrigenous deposits – 16 and 4 hours, respectively.

Keywords: water saturation of core sample, core sample evacuation, whole core.

Поступила 19.01.2017
Received on January 19, 2017

Corresponding author: Aleksandr Yur'ev, address: Naberezhnaya Severnoy Dviny, 14, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.yurjev@narfu.ru

For citation: Yur'ev A.V. Water Saturation of Whole Core Samples in Laboratory Conditions. *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 98–103. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.98