Thermal Properties of Bazhen Formation Rocks of Surgut and Nizhnevartovsk Arches of Western-Siberian Plate from Continuous Core Profiling

E.Y. Popov (Skolkovo Institute of Science and Technology), R.A. Romushkevich (Skolkovo Institute of Science and Technology), A.V. Gabova (Skolkovo Institute of Science and Technology), Y.A. Popov* (Skolkovo Institute of Science and Technology), E.G. Savelev (Skolkovo Institute of Science and Technology), Y.K. Romanov (Subdivision "Lukoil-Engineering" KogalymNIPIneft"), D.A. Spiridonov (Subdivision "Lukoil-Engineering" KogalymNIPIneft")

SUMMARY

Results of thermal property investigations of Bazhen formation rocks are described. Povkhovskoye, Yuzhno-Yagunskoye and Novoort'yagunskoye oil fields located in northern descent of Nizhnevartovsk arch and northeastern part of Surgut arch of Western-Siberian plate were studied. Continuous non-contact high resolution thermal profiling core samples was used that allows to record profiles of volumetric heat capacity and a thermal conductivity principal component along bedding, to determine a thermal conductivity principal component perpendicularly to bedding, thermal anisotropy and heterogeneity coefficients. It was established that the rocks are characterized by essential multi-scale thermal heterogeneity (from 1 mm) and significant thermal anisotropy. The thermal properties vary within wide ranges established for rocks studied previously with the same technique for other areas of the Western-Siberian plate. Rock samples of Povkhovskoye and Novoort'yagunskoye oil fields are essentially more homogeneous. Obtained detailed data on the rock thermal properties allow to form representative databases for basin and hydrodynamic modeling, they allow also to record continuous profiles of total organic carbon, to determine elastic-strength properties and acoustic anisotropy, to improve spatial resolution of geophysical well logging methods using their combination with continuous high-resolution thermal properties profiling on full-size core samples.

Тепловые свойства пород баженовской свиты Сургутского и Нижневартовского сводов Западно-сибирской плиты по результатам непрерывного профилирования керна

Попов Е.Ю., Ромушкевич Р.А., Габова А.В., Савельев Е.Г., Попов Ю.А. (Сколковский институт науки и технологий), Романов Ю.К., Спиридонов Д.А. (Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Когалым)

Путем непрерывного бесконтактного высокоразрешающего теплофизического профилирования полноразмерного керна [1-3] исследованы породы баженовской свиты, вскрытые скважинами, пробуренными в Повховском (скважина А), Южно-Ягунском (скважина Б) и Новоуртьягунском (скважина В) месторождениях, расположенных соответственно на северном склоне Нижневартовского и северо-восточной части Сургутского сводов Западно-Сибирской плиты. Породы сложены в различных соотношениях глинистыми, кремнистыми и карбонатными минералами, характерно присутствие пирита в виде стяжений и маломощных прослоев. Структура пород - пелитовая, текстура - тонкоплитчатая, листоватая, слойчатая. Породы характеризуются высоким содержанием твердого органического вещества, в скважине В вскрыты интервалы со слабым, неравномерным нефтенасыщением. Для скважины А изучено 147 образцов керна в интервале глубин протяженностью 14,0 м, для скважины Б – 168 образцов в интервале 27,4 м, для скважины В – 84 образца в интервале 15,2 м. Для каждого образца керна с пространственным разрешением ~1 мм регистрировались профили главного значения тензора теплопроводности $\lambda_{||}$ вдоль напластования, профили объемной теплоемкости C , определялись главное значение тензора теплопроводности $\lambda_{\perp}$ перпендикулярно напластованию, коэффициент тепловой анизотропии K , коэффициент тепловой неоднородности β , характеризующий структурно-текстурные особенности пород [1]. Результаты теплофизического профилирования для каждого месторождения приведены на рисунках 1-3. По профилям теплопроводности для каждого образца керна регистрировались среднее для каждого образца керна значение каждой компоненты теплопроводности (левые панели рисунков 1-3) и значения минимальной и максимальной теплопроводности (соответственно $\lambda_{мин}$ и $\lambda_{макс}$, вторая слева панель), позволяющие охарактеризовать присутствие в образцах низкотеплопроводной (органическое вещество) и высокотеплопроводной компонент (кварц, пирит) и оценить коэффициент β по формуле $\beta = (\lambda_{макс} - \lambda_{мин}) / \lambda_{среднее}$ [1]. Основная погрешность измерений (при доверительной вероятности 0,95) составляла $\pm 3\%$ для теплопроводности $\lambda_{||}$, $\pm 4\%$ для теплопроводности $\lambda_{\perp}$, ± 5 для объемной теплоемкости.

Рисунок 1. Распределения тепловых свойств пород баженовской свиты вдоль скважины А Повховского месторождения (пояснения даны в тексте). На левой панели красным цветом показаны результаты измерений параметра $\lambda_{||}$, синим - параметра $\lambda_{\perp}$; красным цветом показан коэффициент тепловой неоднородности образцов керна при теплофизическом профилировании вдоль оси керна, синим цветом – при профилировании поперек оси керна. Точками показаны средние значения изучавшихся параметров для каждого изучавшегося образца керна.

Рисунок 2. Распределения тепловых свойств пород баженовской свиты вдоль скважины Б Южно-Ягунского месторождения.

Рисунок 3. Распределения тепловых свойств пород баженовской свиты вдоль скважины В Новорытгунского месторождения.

Данные на рисунках 1-3 показывают существенную разномасштабную неоднородность пород баженовской свиты – от первых миллиметров (о чем свидетельствуют значительные величины параметра β при сканировании образцов керна вдоль оси керна) до нескольких метров. Установлена устойчивая тепловая анизотропия пород при K до 2,60-2,75.

Результаты статистической обработки результатов измерений для каждого месторождения приведены в таблице 1. Сравнение результатов измерений с ранее полученными экспериментальными данными для пород баженовской свиты на других участках Западно-Сибирской плиты (таблица 2) [3-6] показывает, что тепловые свойства изученных пород БС Сургутского и Нижневартовского сводов в большинстве своем не выходят за пределы достаточно широких диапазонов свойств для других участков плиты. Вместе с тем, породы Повховского и Новоурьягунского месторождений выделяются по сравнению с породами других участков платформы существенно более высокой однородностью в пределах каждого образца керна (соответственно средние значения β составляют соответственно 0,11-0,12 (таблица 1) по сравнению с 0,17-0,37 для других месторождений, хотя локальные значения β для пород Повховского и Новоурьягунского месторождений достигают 0,45-1,02.).

Таблица 1. Результаты измерений тепловых свойств пород баженовской свиты, вскрытых скважинами Повховского, Южно-Ягунского и Новоурьягунского месторождений.

Месторождение	Теплопроводность, Вт/(м·К)		K	β	C , МДж/(м³К)	N
	$\lambda_{ }$	$\lambda_{\perp}$				
Повховское	<u>1,71 (0,29)*</u> 1,07-2,61	<u>1,18 (0,41)</u> 0,60-2,86	<u>1,53 (0,31)</u> 1,01-2,55	<u>0,12 (0,08)</u> 0,03-0,49	<u>1,96 (0,10)</u> 1,75-2,31	150*
Южно-Ягунское	<u>1,72 (0,36)</u> 0,71-2,92	<u>1,27 (0,50)</u> 0,40-2,81	<u>1,50 (0,34)</u> 1,00-2,75	<u>0,19 (0,17)</u> 0,04-1,02	<u>1,98 (0,11)</u> 1,73-2,33	172
Новоурьягунское	<u>1,92 (0,66)</u> 1,30-7,32	<u>1,42 (0,56)</u> 0,52-5,11	<u>1,44 (0,24)</u> 1,03-2,52	<u>0,11 (0,07)</u> 0,03-0,45	<u>1,91 (0,07)</u> 1,73-2,07	82

* *Примечание:* в числителе указаны средние и среднеквадратичные (в скобках) значения параметров, в знаменателе приводятся минимальные и максимальные значения параметров; N – число изученных образцов пород.

Детальные данные о комплексе тепловых свойств, получаемые при непрерывном профилировании керна, систематически проводимом нами начиная с 2014 г. для месторождений с традиционными и нетрадиционными ресурсами углеводородов [2-6], используются при решении следующих задач поиска, разведки и разработки нефтегазовых месторождений:

- создание представительных баз исходных данных по тепловым свойствам для моделирования осадочных бассейнов и гидродинамического моделирования резервуаров при тепловых методах добычи на этапах разработки технологий добычи и их оптимизации, а также при оценке запасов [2-5];
- регистрация непрерывных детальных профилей содержания органического вещества (с пространственной разрешающей способностью ~1 мм) вдоль скважин путем преобразования профилей теплопроводности [3-6],
- геомеханическое моделирование (оценка упруго-прочностных свойств и акустической анизотропии) [3, 4, 6];
- повышение разрешающей способности геофизических методов путем комплексирования их данных с результатами непрерывного высокоразрешающего профилирования тепловых свойств пород на керне [2-6];
- петрофизический анализ (выявления кросс-функциональных связей типа «кern-кern»);
- уточнение глубинной привязки интервалов долбления полноразмерного керна,

- обоснованный отбор образцов керна для различных лабораторных исследований (стандартная лабораторная петрофизика, пиролиз и др.);
- поиск связей между литологическим, вещественным составом горных пород и их физическими свойствами (в т.ч. экстремальные проявления в интервалах, включающих металлосодержащие минералы и кероген [3, 4, 6]).

Таблица 2. Тепловые свойства пород баженовской свиты, усредненные для изучавшихся скважин, пробуренных на других участках Западно-Сибирской платформы (по данным [4]).

Теплопроводность, Вт/(м·К)		K	β	C, МДж/(м³·К)	N
$\lambda_{ }$	$\lambda_{\perp}$				
Красноленинский свод (2 изученных скважины)					
<u>2,02-2,06*</u> 0,38-0,39	<u>1,26 -1,33</u> 0,59-0,89	<u>1,68-1,89</u> 0,36-0,43	<u>0,20-0,21</u> 0,19-0,23	<u>2,08-2,09</u> 0,12-0,13	391
Приобское поднятие (3 изученных скважины)					
<u>1,76-2,02</u> 0,37-0,39	<u>1,29-1,52</u> <u>0,45-0,54</u>	<u>1,40-1,43</u> 0,23-0,28	<u>0,17-0,20</u> 0,16-0,20	<u>1,93-2,00</u> 0,13-0,21	1084
Нижневартовский свод (2 изученных скважины)					
<u>1,46-1,53</u> 0,36-0,43	<u>0,93-0,96</u> 0,52-0,61	<u>1,62-1,83</u> 0,42-0,51	<u>0,37-0,40</u> 0,31-0,35	<u>1,92-2,06</u> 0,11-0,16	351
Вынгаяхинский вал (1 изученная скважина)					
<u>1,72</u> 0,31	<u>1,22</u> 0,41	<u>1,50</u> 0,26	<u>0,21</u> 0,30	<u>2,18</u> 0,10	620

* **Примечание:** В числителе показан диапазон средних значений параметра, в знаменателе – диапазон среднеквадратичных отклонений параметра для изучавшейся выборки.

Библиография

1. Popov Y., Beardsmore G., Clauser C., Roy S. ISRM Suggested methods for determining thermal properties of rocks from laboratory tests at atmospheric pressure. //Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016, № 49(10), P. 4179-4207.
2. Попов Е.Ю., Чехонин Е.М., Ромушкевич Р.А., Сафонов С.С., Урсегов С.О, Гурбатова И.П.. Теплофизическое профилирование керна при доизучении геологического строения пермокарбоновой залежи Усинского месторождения. //Известия высших учебных заведений. Серия Геология и разведка, 2016, 6, 38-49.
3. Попов Е.Ю., Чехонин Е.М., Попов Ю.А., Ромушкевич Р.А., Габова А.В., Жуков В.В. Новый подход к изучению баженовской свиты на основе теплофизического профилирования керна. //Недропользование XXI век. 2016, 6, 52-61.
4. Popov, Yu.A., Popov, E.Yu., Chekhonin, E.M., Gabova, A.V., Romushkevich, R.A., Spasennykh, M.Yu., Zagranovskaya, D.E. Investigation of Bazhenov formation using thermal core logging technique. Oil Industry. 2017, 3, 23-27.
5. Popov, E.Yu., Popov, Yu.A., Spasennykh, M.Yu., Kalmykov, G.A., Stenin, V.P. Thermal properties of rocks from Bazhenov suite. Oil Industry. 2015, 10, 32-37.
6. Popov Y.A., Popov E.Y., Chekhonin E.M., Romushkevich R.A., Spasennykh M.Y., Bogdanovich N.N., Kozlova E.V., Gabova A.V., Zhukov V.V., Zagranovskaya D.E., Karpov I.A., Belenkaya I.Y., Ovcharenko Y.V., Alekseev A.D., Kalmykov G.A., Gutman I.S. and Oksenoyd E.E. Thermal Core Logging as New Technique of Bazhenov Formation Investigations for Prospecting, Exploration and Recovery of Hydrocarbons. Geomodel 2016 – 18th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. 2016.

References

1. Popov Y., Beardsmore G., Clauser C., Roy S. ISRM Suggested methods for determining thermal properties of rocks from laboratory tests at atmospheric pressure. //Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016, № 49(10), P. 4179-4207.
2. Popov E., Chekhonin E., Romushkevich R., Safonov S., Ursegov S., Gurbatova I. Thermophysical core profiling at additional studying geological structure of Permian-carbon bed of Usinskoye heavy oil field. Izvestiya Vyshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya "Geologiya i Razvedka", 2016, 6, 38-49.
3. Popov E., Chekhonin E., Popov Yu., Romushkevich R., Gabova A., Zhukov V. New approach to investigations of Bazhen formation based on thermophysical core profiling. Nedropol'zovanie XXI Century. 2016, 6., 52-61.
4. Popov, Yu.A., Popov, E.Yu., Chekhonin, E.M., Gabova, A.V., Romushkevich, R.A., Spasennykh, M.Yu., Zagranovskaya, D.E. Investigation of Bazhenov formation using thermal core logging technique. Oil Industry. 2017, 3, 23-27.
5. Popov, E.Yu., Popov, Yu.A., Spasennykh, M.Yu., Kalmykov, G.A., Stenin, V.P. Thermal properties of rocks from Bazhenov suite. Oil Industry. 2015, 10, 32-37.
6. Popov Y.A., Popov E.Y., Chekhonin E.M., Romushkevich R.A., Spasennykh M.Y., Bogdanovich N.N., Kozlova E.V., Gabova A.V., Zhukov V.V., Zagranovskaya D.E., Karpov I.A., Belenkaya I.Y., Ovcharenko Y.V., Alekseev A.D., Kalmykov G.A., Gutman I.S. and Oksenoyd E.E. Thermal Core Logging as New Technique of Bazhenov Formation Investigations for Prospecting, Exploration and Recovery of Hydrocarbons. Geomodel 2016 – 18th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. 2016.