

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Дмитрий Евгеньевич Аюнов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, ведущий программист лаборатории естественных геофизических полей, тел. (383)333-03-99, e-mail: AyunovDE@ipgg.sbras.ru

Альберт Дмитриевич Дучков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории естественных геофизических полей, тел. (383)330-25-91, e-mail: DuchkovAD@ipgg.sbras.ru

Людмила Степановна Соколова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории естественных геофизических полей, тел. (383)330-25-91

Обсуждаются результаты измерений теплопроводности образцов пород баженовской свиты из керна скважин Салымская-2802, Малобалыкская-901, Чупальская-67. Измерения выполнялись прибором «Измеритель теплопроводности сканирующий». Всего выполнено 180 измерений теплопроводности в двух направлениях – параллельном и перпендикулярном слоистости. В обоих направлениях теплопроводность пород баженовской свиты изменяется от 1,1 до 2,5 Вт/м/К при среднем значении 1,5–1,7 Вт/м/К.

Ключевые слова: Западно-Сибирская плита, баженовская свита, измеритель теплопроводности сканирующий, коэффициент теплопроводности пород.

THERMAL CONDUCTIVITY OF BAZHENOV FORMATION ROCKS

Dmitry E. Ayunov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Laboratory of natural geophysical fields, tel. (383)333-03-99, e-mail: AyunovDE@ipgg.sbras.ru

Albert D. Duchkov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Doctor of Science, Laboratory of natural geophysical fields, tel. (383)330-25-91, e-mail: DuchkovAD@ipgg.sbras.ru

Ludmila S. Sokolova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Laboratory of natural geophysical fields, tel. (383)330-25-91, e-mail: DuchkovAD@ipgg.sbras.ru

The results of thermal conductivity measurements for the rock samples from bazhenov formation core of the Salymenskaya-2802, Malobalykenskaya-901 and Chupalskaya-67 boreholes are discussed. The device «Scanning thermal conductivity meter» was used for the measurements. In all

180 thermal conductivity measurements were carried out in two directions – parallel and perpendicularly to the sample layers. In both directions thermal conductivity of bazhenov formation rocks varies from 1,0 to 2,5 W/m/K, on the average 1,6-1,7 W/m/K.

Key words: West Siberian plate, bazhenov formation, scanning thermal conductivity meter, thermal conductivity of rocks.

Баженовская свита выделяется в Западной Сибири на территории около миллиона квадратных километров и в пределах практически всей площади распространения находится в главной зоне нефтеобразования (на глубине 2–3 км, температура 70–134 °С). Ряд исследователей полагает, что к формированию коллекторов в баженовской свите причастно глубинное тепло [1, 2]. Температурные измерения в глубоких скважинах позволили установить существенное возрастание геотермического градиента (до 50–60 мК/м) в породах баженовской свиты (средний градиент в породах мела – 30 мК/м, доюрского фундамента – 25 мК/м) [3]. Причиной наблюдаемого изменения градиента может быть низкая теплопроводность (λ) баженинов по сравнению с породами других свит [4].

Баженины – трудный объект для измерений теплопроводности на приборах, требующих специальной подготовки образцов. Из битуминозных аргиллитов трудно готовить образцы, так как они часто разрушаются при механической обработке. Создание прибора ИТС (Измеритель теплопроводности сканирующий) [5] позволило нам впервые сравнительно детально изучить теплопроводность пород баженовской свиты по керну скважин Салымского района.

В основу прибора ИТС положен метод оптического сканирования образца подвижным источником тепла (электролампа с отражателем) и регистрации максимальных приращений температуры (T) нагреваемой поверхности подвижным инфракрасным радиометром. Теплопроводность определяется путем сравнения максимальных приращений T на исследуемом образце и на эталонах с известной теплопроводностью при одновременном их сканировании.

В данной работе в качестве эталонов использовались: мрамор ($\lambda = 2,86$ Вт/м/К), плавленый кварц КВ ($\lambda = 1,335$ Вт/м/К) и стекло К-8 ($\lambda = 1,081$ Вт/м/К). Измерения прибором ИТС могут быть выполнены без предварительной обработки на любой плоской или цилиндрической поверхности, если неровности не превышают $\pm 0,5$ мм. Качественные результаты получаются при измерениях на образцах, размер которых более 40x40x20 мм. Скорость сканирования составляет 4 мм/сек. В результате измерения определяются максимальное ($\lambda_{\text{макс}}$), минимальное ($\lambda_{\text{мин}}$) и среднее ($\lambda_{\text{ср.}}$) значения теплопроводности, а также коэффициент тепловой неоднородности $\beta = (\lambda_{\text{макс}} - \lambda_{\text{мин}}) / \lambda_{\text{ср.}}$, который характеризует тепловую неоднородность конкретного образца (в однородных породах $\beta \rightarrow 0$).

С помощью прибора ИТС изучена теплопроводность 139 образцов из керна скважин Салымская-2802, Малобалыкская-901 и Чупальская-67 (Салымский нефтегазоносный район). По возможности на каждом полноразмерном керне проводилось два измерения (сканирования): вдоль оси керна по боковой поверхности и на торцах керна. В первом случае оценивалось значение теплопро-

водности вдоль слоистости (λ_1), во втором – вдоль оси керна, т.е. перпендикулярно слоистости (λ_2). В табл. 1 приведены данные о количестве измерений по каждой скважине. Очевидно, что наиболее детально изучена теплопроводность пород баженовской свиты по керну скважины Салымская-2802, поэтому в дальнейшем будем анализировать в основном данные именно по этой скважине. Отметим, что по геолого-геофизическим данным [6, 7], в разрезе скважины Салымская-2802 баженовская свита выделяется в интервале 2796–2830 м, т.е. нами изучена теплопроводность только верхней половины баженовской свиты, вскрытой этой скважиной.

Таблица 1

Количество измерений теплопроводности

Скважина	Глубина, м	Число образцов	Число измерений		
			λ_1	λ_2	$\lambda_1 + \lambda_2$
Салымская-2802	2786-2816	128	122	37	31
Малобалыкская-901	2885-2912	7	7	7	7
Чупальская-67	2945-2956	4	4	4	4
Всего		139	133	48	42

На рис. 1 представлены гистограммы значений λ образцов керна из баженовской свиты по скважине Салымская-2802 (интервал 2796–2816). Они показывают, что теплопроводность пород свиты изменяется в широких пределах – в основном от 1,1 до 2,6 Вт/м/К. Отдельные керн характеризуется более высокой теплопроводностью (до 3 Вт/м/К). Оба распределения близки к нормальному с одним модальным значением 1,6–1,7 Вт/м/К. Правая ветвь гистограммы λ_1 растянута в сторону увеличения до 3,0 Вт/м/К (в основном измерения в интервале 2814–2816 м). Средние значения λ_1 и λ_2 составляют соответственно $1,69 \pm 0,33$ Вт/м/К (по 80 измерениям) и $1,52 \pm 0,24$ Вт/м/К (по 20 измерениям).

На рис. 2 показано изменение λ_1 и λ_2 по глубине в интервале 2786–2816 м для скважины Салымская-2802.

Теплопроводность измерена в трех интервалах: 2786–2796 м, 2799–2809 м и 2812–2816 м. Рассмотрим изменения λ в каждом из них.

Интервал 2786–2796 м, перекрывающий баженовскую свиту, сложен в основном глинистыми аргиллитами мелового возраста с редкими линзами известняка. С глубиной аргиллиты изменяются от серых до темно-серых и черных, что связано с увеличением в них органики. Теплопроводность в этом интервале постепенно уменьшается с глубиной в среднем от 2 до 1,5 Вт/м/К, причем в основном сохраняется превышение λ_1 над λ_2 (на 0,5–0,6 Вт/м/К). Аномально высокие значения λ_1 (3–4 Вт/м/К), вероятно, фиксируют скопления карбонатного материала.

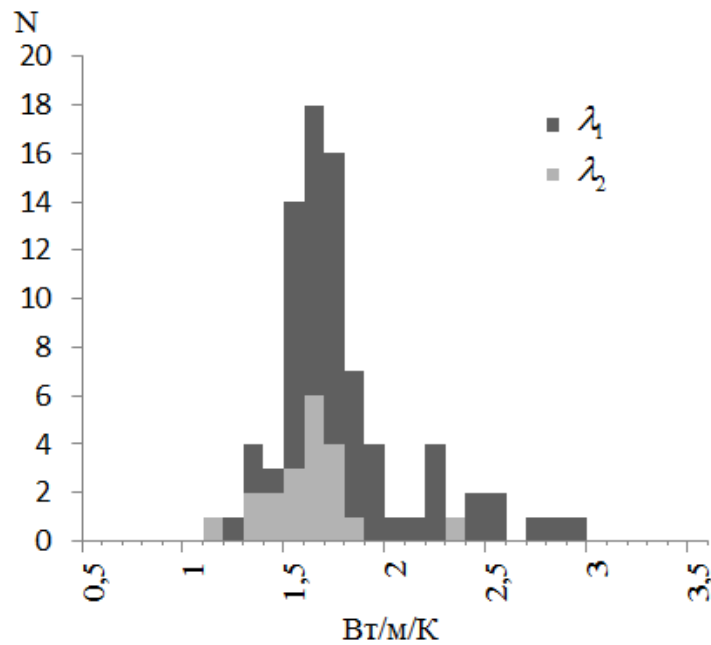


Рис. 1. Гистограммы значений λ пород баженовской свиты по скважине Салымская-2802 (интервал 2796–2816 м).
 λ_1 – 80 значения, λ_2 – 20 значений

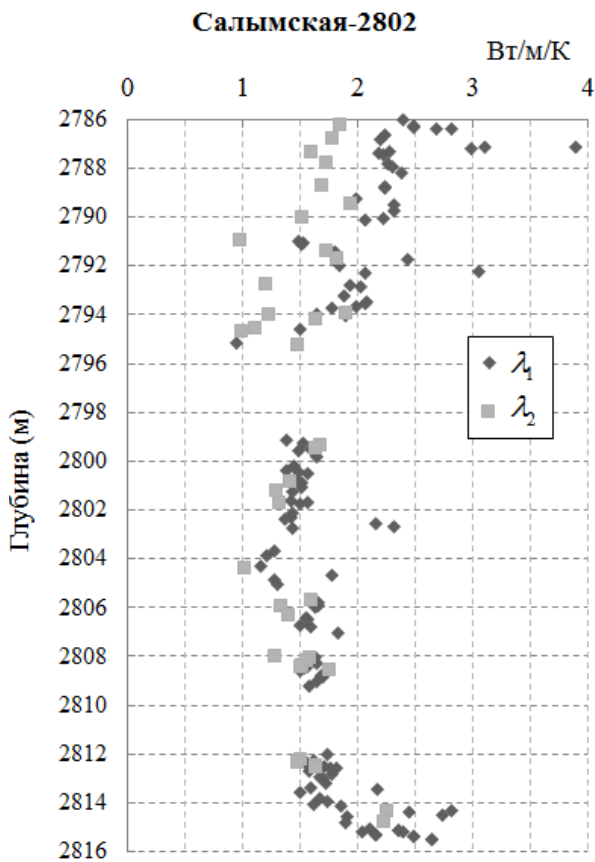


Рис. 2. Изменение теплопроводности (λ_1 и λ_2) пород скважины Салымская-2802 в интервале 2786–2816 м.
 По геолого-геофизическим данным [6, 7] баженовская свита в этой скважине располагается на глубинах 2796–2830 м.
 Геологический разрез по [6, 7]:
 породы мелового возраста:
 I. 2786–2796 м – глинистые аргиллиты;
 баженовская свита:
 II. 2796–2801, 2803–2805.5, 2807–2814 м – глинисто-кремнистые породы с высоким содержанием $C_{орг}$ и редкими карбонатными прослоями;
 III. 2801–2803, 2805.5–2807, 2814–2816 м – породы, обогащенные кремнием (силициты)

Интервал 2799–2809 м представлен отложениями баженовской свиты и сложен в основном черными глинисто-кремнистыми аргиллитами с высоким содержанием органики и редкими прослоями известняка. Этот интервал в отличие от других характеризуется примерно одинаковой теплопроводностью во всех направлениях (в среднем 1,5 Вт/м/К). На глубинах 2801–2803 м и 2805–2807 м выделяются слои, обогащенные кремнием (силициты).

Интервал 2812–2816 м также представлен отложениями баженовской свиты, которая здесь сложена черными глинисто-кремнистыми аргиллитами, обогащенными органикой. На глубинах 2810–2814 м теплопроводность пород во всех направлениях сохраняется примерно одинаковой, но более высокой (в среднем 1,6–1,7 Вт/м/К), чем во втором интервале. Ниже 2014-и м выявлен слой пород, обогащенных кремнием (силициты) с редкими карбонатными прослоями. В его пределах значения λ_1 и λ_2 резко возрастают (λ_1 – до 2,5–2,8, λ_2 – до 2,3 Вт/м/К), что может быть связано с влиянием кремнезема и карбонатов.

В скважинах Малобалыкская-901 и Чупальская-67 измерено всего 11 образцов (табл. 1) аргиллитов из баженовской свиты. Измерения выполнены по обоим направлениям. По первой скважине средние значения λ_1 и λ_2 составляют 2,0 и 1,4 Вт/м/К, а по второй – 1,8 и 1,2 Вт/м/К.

В результате выполненных исследований установлена аномально низкая теплопроводность пород (в основном аргиллиты) баженовской свиты. В вертикальном направлении она составляет 1,2–1,6 Вт/м/К, т.е. в 1,5–2 раза меньше теплопроводности вышерасположенных меловых пород [3]. Это изменение λ приводит к наблюдаемому увеличению геотермического градиента в пределах свиты и соответственно к росту температуры в нижележащих породах.

Благодарности. Авторы благодарят академика А.Э. Конторовича и сотрудников лабораторий седиментологии и геологии нефти и газа Западной Сибири ИНГГ СО РАН за поддержку исследований теплопроводности пород баженовской свиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. / Под. ред. Ф.Г. Гурари. - М.: Недра, 1988. - 199 с.
2. Зубков М.Ю. Типы коллекторов и акустические свойства пород, слагающих отложения баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Горные ведомости. - 2013. - № 12. - С. 32–49.
3. Дучков А.Д., Соколова Л.С., Новиков Г.Н., Фризен Л.Ф. Тепловой поток юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. - 1988. - № 8. - С. 77–85.
4. Соколова Л.С., Дучков А.Д., Юрченко Н.В. Теплопроводность битуминозных аргиллитов баженовской свиты // Геология и геофизика. - 1986. - № 10. - С. 42–46.
5. Попов Ю.А., Семенов В.Г., Коростелев В.М., Березин В.В. Безконтактное определение теплопроводности горных пород с помощью подвижного источника тепла // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1983. - №7. - С. 86–93.
6. Интерпретация материалов геофизических исследований скважин нефтеносного разреза баженовской свиты: литотипы и их физические параметры / М. А. Павлова, К. В. Сухо-

рукова, В. Н. Глинских, В. А. Казаненков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 127–131.

7. Дешин А.А., Пономарева Е.В. Распределение органического углерода в баженовской свите по данным геофизических исследований скважин (Салымский нефтегазоносный район) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. - № 2.

© Д. Е. Аюнов, А. Д. Дучков, Л. С. Соколова, 2015