

УДК 536.21+536.631

И.Н. Середкин

**ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ПОРОД
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КАМЧАТКИ**

Представлены краткий обзор литературы и анализ состояния исследований тепловых свойств пород геотермальных месторождений Камчатки, полученных в период 1986-2014 гг.

Ключевые слова: геотермальные месторождения, горные породы, теплоемкость, теплопроводность.

Знания о тепловых свойствах горных пород необходимы как при оценке тепловых ресурсов геотермальных систем и месторождений, так и для математического моделирования процессов теплопереноса при оценке термодинамических параметров геотермальных систем и проектировании систем разработки [1] и являются ключевым параметром для численных моделей геотермальных систем [2]. При этом совершенствование методов измерений тепловых свойств горных пород приводит к существенным изменениям ранее полученных данных [1]. Целью настоящей работы является обзор публикаций по измерениям тепловых свойств пород геотермальных систем и месторождений Камчатки.

В настоящее время существует считанное количество опубликованных работ посвященных тепловым свойствам пород геотермальных систем и месторождений Камчатки (табл.1). В статье [3] представлены данные о тепловых свойствах образцов керна скважин Мутновского геотермального месторождения глубиной от 40 до 100 м. С целью изучения теплового потока в скважинах измерялась температура и ее градиент, его значение определялось расчетным путем с использованием уравнения Фурье. Необходимый для вычислений коэффициент теплопроводности горных пород определялся с помощью следующих установок: установка, основанная на стационарном методе двух плоских пластин без охранного чехла; установка, осно-

ванная на нестационарном методе цилиндрического зонда постоянной мощности; опытно-серийный прибор «Ламбда», основанный на стационарном методе разделенного стержня. Среднее значение коэффициента теплопроводности для верхней части (1,5÷2 км) разреза Мутновского месторождения составило 1,7 Вт/м°С.

Яновским Ф.А. были исследованы различные породы геотермальных месторождений Камчатки: песчаники, алевролиты, аргиллиты, туфы, туфобрекчии, сланцы, диориты, эффузивы и т.д. [4]. Автор указывает, что для кристаллических интрузивных образований теплопроводность обусловлена в основном решеточной проводимостью слагающих породу твердых частиц. Поэтому эффузивные породы имеют меньшие значения теплопроводности и теплоемкости. Для одинаковых по литологии пород большее влияние на теплопроводность оказывают структурно-текстурные неоднородности, чем различия в вещественном составе. В [4] сделано предположение о росте теплопроводности вулканогенно-осадочных пород с возрастом и глубиной залегания и выделено две группы пород: метаморфизованные отложения со средней теплопроводностью 2,73 Вт/м°С и вулканогенно-осадочные и эффузивные кайнозойские отложения с теплопроводностью от 1,0 до 2,4 Вт/м°С.

Таблица 1

Публикации по измерениям тепловых свойств пород геотермальных систем и месторождений Камчатки

Литературный источник	Месторождение	Теплопроводность	Теплоемкость
Сугробов В.М., Яновский Ф.А. [3]	Мутновское	+	н/д
Яновский Ф.А. [4]	Мутновское, Паужетское, Начикинское, Апачинское, Малкинское	+	н/д
А.В. Кирюхин и др. [5,6]	Паратунское, Малкинское, Долина Гейзеров	+	+
Пашкевич Р.И и др. [8]	Паратунское, Мутновское, Авачинская система	+	+
Пашкевич Р.И и др. [9]	Авачинская система	+	+

В [5,6] представлены данные, полученные с помощью метода инверсионного моделирования. Для 9 исследованных образцов были повторно измерены теплопроводность и температуропроводность на разработанной Ю.А. Поповым установке оптического сканирования [7].

В [8] приведены результаты измерений тепловых свойств образцов пород геотермальных систем и месторождений Камчатки на лабораторной установке оптического сканирования Ю.А. Попова в Московском научно-исследовательском центре ООО «Технологическая компания Шлюмберже» при комнатной температуре, а также при пластовых условиях. В [8] получены данные о зависимости свойств образца от давления и температуры. Измерения проводились при температурах от 20 до 200 °С и избыточных давлениях от 0,1 до 30 МПа. Теплопроводность при разных температурах с увеличением давления от 0,1 до 30 МПа увеличивалась на 1,4 – 3,8 %. При повышении температуры от 20 до 200 °С теплопроводность образца понижалась на 10 %, а объемная теплоемкость увеличивалась на 30 %. В работе [9] представлены данные о тепловых свойствах 57 образцов пород с глубин 5 – 10 м Авачинской геотермальной системы, полученные на установке оптического сканирования Ю.А. Попова в Сколковском институте науки и технологий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что к настоящему времени масштабные исследования тепловых свойств пород геотермальных систем и месторождений Камчатки не проводились, опубликовано только 6 работ, измерения при пластовых условиях были осуществлены в одном случае. Необходимо продолжить работы для получения представительных данных о тепловых свойствах пород геотермальных систем и месторождений Камчатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич Р.И. Влияние свойств горных пород на результаты численного моделирования эксплуатации геотермальных систем // ГИАБ. ОВ 2 «Камчатка» (специальный выпуск). – 2014. – С.36-46.

2. Sipiõa E.D., Chiesab S., Destroa E., Galgaroa A., Giarettaa A., Golad G., Manzellad A., Rock Thermal Conductivity as Key Parameter for Geothermal Numerical Models // Energy Procedia. –2013. – № 40. – С. 87–94.

3. Сугробов В.М., Яновский Ф.А. Измерение теплового потока в субповерхностных условиях // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. – М.: Наука, 1986. – С. 126–140.


4. Яновский Ф.А. О теплопроводности вулканогенно-осадочных пород Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 5. – С.77–84.

5. Кирюхин А.В., Поляков А.Ю., Мушинский А.В., Топчиева О.М. Исследование тепловых свойств скальных пород геотермальных месторождений // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 30-31 марта 2009 г., Петропавловск-Камчатский, 2010. – С.149–156.

6. Кирюхин А.В., Поляков А.Ю., Мушинский А.В. Измерения теплопроводности и удельной теплоемкости на примере вулканогенных горных пород // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 5. – С.27–37.

7. Попов Ю.А. Теоретические модели для определения тепловых свойств горных пород на основе подвижных источников тепловой энергии // Известия вузов. Сер. «Геология и разведка». – 1983. – № 9. – Статья 1. С. 97–105; 1984. – № 2. – Статья 2. – С. 83–91.

8. Пашкевич Р.И., Попов Е.Ю., Тарелко Н.Ф., Чернев И.И., Павлов К.А., Муратов П.В. Новые данные о тепловых свойствах пород геотермальных месторождений Камчатки // ГИАБ. ОВ 2 «Камчатка» (специальный выпуск). – 2014. – С. 36–46.

9. Пашкевич Р.И., Попов Е.Ю., Савельев Е.Г., Ромушкевич Р.А., Павлов К.А. Экспериментальные исследования тепловых свойств пород Авачинской геотермальной системы // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2», 2015. С. 7–23. 

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Середкин Илья Николаевич – младший научный сотрудник, nigt@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.



UDC 536.21+536.631

REVIEW OF THERMAL PROPERTIES OF ROCKS KAMCHATKA GEOTHERMAL FIELDS

Seredkin I.N., Junior Research Associate, nigt@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia.

Provides a brief literature review and analysis of the studies thermal properties of Kamchatka rocks received during the 1986-2014 years.

Key words: geothermal fields, rocks, specific heat, thermal conductivity.

REFERENCES

1. Pashkevich R.I. *Vlijanie svojstv gornyh porod na rezultaty chislennogo modelirovaniya jekspluatscii geotermalnyh sistem* (The Influence of rock properties on the results of numerical modeling of exploitation geothermal systems), GIAB, OV 2, «Kamchatka» (special issue), 2014, pp.36-46.
2. Sipioa E.D., Chiesab S., Destroa E., Galgaroa A., Giarettaa A., Golad G., Manzelad A., *Rock Thermal Conductivity as Key Parameter for Geothermal Numerical Models* (Thermal Conductivity as Key Parameter for Geothermal Numerical Models), Energy Procedia, 2013, No. 40, pp. 87-94.
3. Sugrobov V.M., Yanovskiy F.A. *Izmereniye teplovogo potoka v subpoverkhnykh usloviyakh, Geothermal and geochemical studies of high-temperature fluids* (Measurement of heat flow in subpoverty conditions // Geothermal and geochemical researches of high-temperature hydrothermal), Moscow: Nauka, 1986, pp. 126-140.
4. Yanovskiy F.A. *O teploprovodnosti vulkanogenno-osadochnykh porod Kamchatki, Vulkanologiya i seysmologiya* (On the thermal conductivity of volcanogenic-sedimentary rocks of Kamchatka), 1989, No. 5, pp. 77-84.
5. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Yu., Mushinskiy A.V., Topchiyeva O.M. *Materialy yezhegodnoy konferentsii, posvyashchenoy Dnyu vulkanologa 30-31 marta 2009 g. «Issledovaniye teplovykh svojstv skalnykh porod geotermalnykh mestorozhdeniy»* (Study of thermal properties of hard rocks of geothermal fields), Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2010, pp.149-156.
6. Kirjuhina A.V., Poljakov A.Ju., Mushinskiy A.V. *Izmereniya teploprovodnosti i udelnoy teploemkosti na primere vulkanogennykh gornyh porod* (Measurement of thermal conductivity and specific heat capacity example on the volcanic rocks), Vulkanologiya i seysmologiya, 2014, No. 5, pp. 27-37.
7. Popov Yu.A. *Teoreticheskie modeli dlya opredeleniya teplovykh svojstv gornyh porod na osnove podvizhnykh istochnikov teplovoj ehnergii* (Theoretical model for determining thermal properties of rocks on the basis of movable sources of thermal energy), Izvestiya vuzov, seriya «Geologiya i razvedka», 1983, Statya 1, No 9, pp. 97-105; 1984, Statya 2, No 2, pp. 83-91.
8. Pashkevich R.I., Popov E.Yu., Tarelko N.F., Chernev I.I., Pavlov K.A., Muratov P.V. *Novyye dannyye o teplovykh svojstvakh porod geotermalnykh mestorozhdeniy* (New data on thermal rock properties geothermal fields of Kamchatka). Kamchatki, GIAB, OV 2, «Kamchatka» (special issue), 2014, pp.36-46.
9. Pashkevich R.I., Popov E.Yu., Savelyev E.G., Romushkevich R.A, Pavlov K.A. *Eksperimentalnye issledovaniya teplovykh svojstv porod Avachinskoy geotermalnoy sistemy* (Experimental investigation of thermal properties of rocks of Avachinsky geothermal system), GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue), 2015. pp. 7-23.