УДК 550.367

Оценка геотермального потенциала Северо-Мутновской гидротермальной системы (Камчатка)

В.В. Василевская[1], Е.Д. Деева[2], М.Р. Литвинов[3]

[1]*Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия*
hedewoff@gmail.com
[2]*Московский физико-технический институт (МФТИ), Долгопрудный, Россия*
[3]*Санкт-Петербургский политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

В работе проведена предварительная оценка геотермальных ресурсов Северо-Мутновской гидротермальной системы на основе анализа температурных данных и объемного метода расчета теплосодержания. Построены геотемпературные разрезы (термотомография) на отметках −250, −750 и −1250 м. Анализ полученного температурного распределения позволил выделить на каждом из исследуемых глубин локальные высокотемпературные зоны, которые будут рассматриваться как наиболее перспективные участки гидротермального резервуара для дальнейшей оценки ресурсного потенциала. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения пространственной структуры резервуара, последующего термогидродинамического моделирования и обоснования размещения эксплуатационно-разведочных и нагнетательных скважин.

Assessment of the Geothermal Potential of the North-Mutnovsky Hydrothermal System

Victoria V. Vasilevskaya[1], Ekaterina D. Deeva[2], Maxim R. Litvinov[3]

[1]*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, St. Petersburg, Russia*
[2]*Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Russia*
[3]*Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia*

This study presents a preliminary assessment of the geothermal resources of the North-Mutnovsky hydrothermal system based on the analysis of temperature data and a volumetric heat-content estimation method. Geothermal cross-sections (thermal tomography) were constructed at elevations of −250, −750, and −1250 m. Analysis of the resulting temperature distribution identified local high-temperature zones at each of the investigated depth levels. Heat content was calculated for the selected zones using a volumetric method that accounts for rock porosity, density, and heat capacity, as well as the thermodynamic properties of water. The results may be used to refine the spatial structure of the reservoir, support subsequent thermodynamic modelling, and substantiate the placement of production–exploration and injection wells.

Северо-Мутновская система представляет собой классическую конвективную гидротермальную систему вулканического типа. Температурный режим системы характеризуется высокими значениями и значительными термическими градиентами. По данным термометрии эксплуатационных и разведочных скважин, температуры в продуктивных горизонтах достигают 280–300 °C.

Интерполяция исходного массива температур позволила построить температурные срезы для Северо-Мутновской гидротермальной системы на абсолютных отметках −250 м, −750 м и −1250 м (рис. 1). Полученные карты отражают пространственную неоднородность температурного поля, обусловленную сочетанием теплового влияния глубинного источника, проницаемых разломно-трещинных зон и гидродинамических условий циркуляции теплоносителя. На всех исследуемых глубинах в пределах контура системы выделяются локальные области повышения температур. При этом южная часть контура не рассматривалась как отдельный объект ресурсной оценки: плавное повышение температур в данном направлении, вероятно, отражает региональное тепловое воздействие вулканического центра, а не локализованный продуктивный участок.

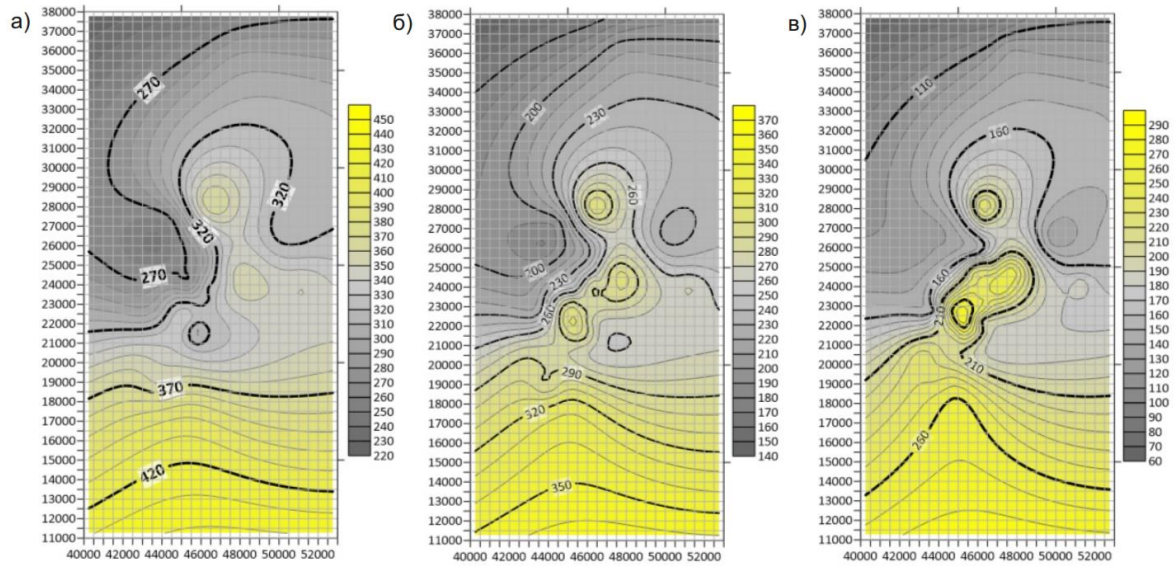


Рисунок 1 – Геотемпературные срезы по абсолютным отметкам
а) −1250 м, б) −750 м, в) −250 м с соответствующими градусными шкалами

Максимальные интерполированные температуры в пределах выделенных зон составили 367.7 °C на отметке −1250 м, 313.1 °C на отметке −750 м и 275.5 °C на отметке −250 м, что подтверждает высокотемпературный характер рассматриваемой гидротермальной системы.

Результаты

Количественная оценка геотермальных ресурсов для выделенных перспективных зон выполнена объемным методом по формуле (1). Расчетная область была дискретизирована на элементарные блоки площадью 500×500 м, при условной мощности пласта 500 м, расчетный объем составил 125 000 000 м^3. Теплосодержание каждого блока определялось с учетом вклада минеральной матрицы и порового флюида (в рамках предварительной оценки, поровое пространство считалось заполненным однофазным флюидом, водой):

$$\mathrm{M} = (1-\phi)\cdot C_R \cdot T \cdot \rho_R + \phi \cdot \rho_\beta \cdot U_\beta \ , \qquad (1)$$

где ϕ – пористость; C_R – удельная теплоемкость, Дж/кг · °C; ρ_R – минеральная плотность, кг/м^3; T – температура, °C; ρ_β – плотность воды, кг/м^3; U_β – внутренняя энергия воды, Дж/кг; P – давление воды, Па. U_β находится по формуле $U = h - P/\rho$, где h – энтальпия воды, Дж/кг.

Параметры пород задавались дифференцированно для исследуемых глубинных уровней с учетом опубликованных А.В. Кирюхиным в 2018 г. [1] данных (данные приведены в табл. 1) теплофизических и фильтрационных свойств пород Мутновского геотермального поля. При известных значениях членов, геотермальные ресурсы срезов −1250, −750 и −250 м равны $101 \cdot 10^{18}$, $104 \cdot 10^{18}$ и $105 \cdot 10^{18}$ Дж соответственно. Что немного больше расчётных ресурсов по данным В.М. Сугробова [2] , который рассчитал $46 \pm 9 \cdot 10^{18}$ Дж. Это может быть обусловлено отличием объёма резервуара и обновленными исходными данными.

Таблица 1. Значения петрофизических параметров и схемой моделей глубин

Модель породы	MAGM	MAGMF	CONT1	CONT2	SAND1	SAND2
Проницаемость, 10^{-15}м^2	0.001	2.7	616	0.001	85	0.001
Пористость	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Плотность минеральная, кг/м^3	2700	2700	2400	2400	2300	2300
Теплопроводность, Вт/м·С	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Удельная теплоёмкость, Дж/кг·С	1000	1000	1000	1000	1000	1000

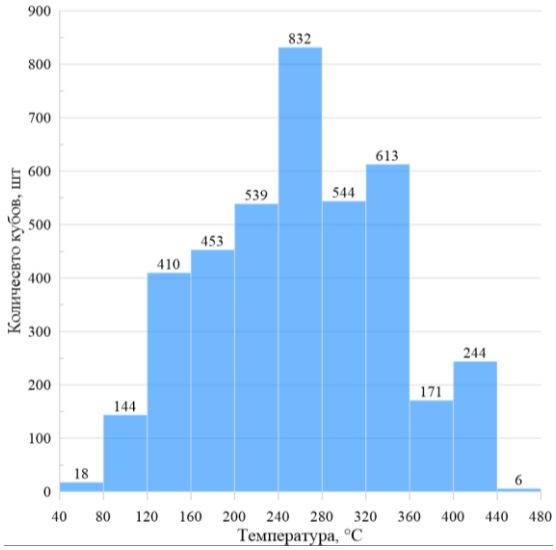


Рисунок 3 – Гистограмма распределения геотермальных ресурсов

Суммирование теплосодержания блоков позволило получить предварительную оценку геотермального потенциала района (рис. 3). Технологии использования геотермальных ресурсов зависят в основном от температуры. В настоящее время в исследуемом районе отрабатывается диапазон от 260 до 290 °C для прямого использования пара в 2 кг/с на 1 МВт.

Диапазон температур велик, при этом определенные условия проверены на длительных эксплуатациях Мутновской и Паужетской ГеоЭС. В зоне 240–300 °C идёт получение энергии напрямую, в зоне 160–200 °C это тоже возможно, но с понижением эффективности. Перспективной зоной для бинарных исследований по циклу Ранкина является 100-120 °C.

Выводы

Полученные в ходе расчетов значения характеризуют исключительно общее теплосодержание минеральной матрицы и порового флюида в недрах. Они не являются оценкой извлекаемых или технически доступных геотермальных ресурсов, так как не учитывают технологические ограничения, гидродинамические потери и реальный коэффициент извлечения тепла.

Тем не менее, полученные данные и выделенные перспективные контуры служат основой для перехода к следующему этапу исследований. В частности, они могут быть использованы для построения полноценной трехмерной термодинамической модели, уточнения ресурсной базы, а также для научно обоснованного размещения эксплуатационно-разведочных и нагнетательных скважин на Мутновском геотермальном месторождении.

Выражаем благодарность А.В. Кирюхину за проделанный труд.

Список литературы

1. *Kiryukhin A.V.* Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high-temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) / *A.V. Kiryukhin, A.Y. Polyakov, O.O. Usacheva, P.A. Kiryukhin* // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2018.

2. *Кирюхин А.В.* Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения / *А.В. Кирюхин, В.М. Сугробов* // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 50–65.