УДК 550.831:550.36

Сеточные (грид) двумерные модели избыточных плотностей на площади Нижне-Кошелевской термонаномалии (Кошелевский вулканический массив, Южная Камчатка)

Ю.Ю. Букатов, С.О. Феофилактов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
tomgf@mail.ru

На площади Нижне-Кошелевской термоаномалии проведены гравиметрические исследования. Построены и описаны вероятные сеточные (грид) двумерные модели структуры поля до глубины 800 м. В структуре термального поля выделяются участки с различными плотностными характеристиками, структура поля неоднородна.

Two-Dimensional Models of Excess Densities on the Area of the Nizhne-Koshelevskaya Thermal Anomaly (Koshelevsky Volcanic Massif, Southern Kamchatka)

Yuriy Yu. Bukatov, Sergey O. Feofilaktov

[1]*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk Kamchatsky, Russia*

Gravity fields studies have been conducted in the area of the Nizhne-Koshelevskaya thermal anomaly. Probable two-dimensional (2D) grid models of the source structure of the thermal anomaly down to a depth of 800 m are constructed and described. The structure creating the thermal field is characterized by the presence of areas with different density characteristics, and the structure of the field is heterogeneous.

Введение

Активное освоение геотермальных ресурсов является одним из ключевых направлений современной энергетики. В этом контексте наиболее перспективным является Камчатский регион, который обладает значительным потенциалом в области геотермальной энергетики благодаря многочисленным гидротермальным системам. Южные районы Камчатского полуострова характеризуются высокой гидротермальной активностью, и среди них выделяется Паужетская гидротермальная система, представляющая собой один из наиболее изученных объектов данного региона.

В непосредственной близости от Паужетских источников расположен Кошелевский вулканический массив, являющийся крупной тектоно-магматической структурой субширотного простирания. Массив включает пять разновозрастных вулканов: Древний, Западный, Валентин, Центральный и Восточный [1, 2]. В период 1960–1970-х годов в рамках развития геотермальной энергетики на Камчатке были проведены комплексные геолого-гидрогеохимические исследования и поисково-разведочные работы, направленные на изучение термоаномалий Кошелевского массива (Нижне- и Верхне-Кошелевской).

Исследования, проведенные Е.А. Вакиным и его коллегами, позволили оценить тепловую активность Нижне-Кошелевской и Верхне-Кошелевской термоаномалий. Согласно полученным данным, Нижне-Кошелевская аномалия характеризуется тепловым потоком около 25000 ккал/с, а Верхне-Кошелевская – около 50000 ккал/с. Эти результаты послужили основой для проведения производственных геофизических и поисково-разведочных работ в районе Нижне-Кошелевской аномалии. В результате комплексных исследований и бурения скважин была выделена зона сухого пара, простирающаяся на глубину более 1500 метров от дневной поверхности. На основании этих данных было установлено наличие Нижне-Кошелевского пародоминирующего геотермального месторождения с электрической мощностью не менее 90 МВт.

На современном этапе исследований существенно уточнены строение зоны пара и особенности близповерхностной разгрузки термальных вод. С помощью низкочастотного сейсмического зондирования в центральной части месторождения была выявлена изометричная область интенсивно аргиллизированных пород, насыщенная парогазовой смесью. Эта область имеет форму неправильной чаши и распространяется на глубину 250–300 метров. Область связана с источником тепла субвертикальными каналами повышенной трещинно-поровой проницаемости, которые погружаются на глубину более 5 км. Предполагается, что многофазная интрузия диоритов-диоритовых порфиритов, вскрытая бурением, служит источником тектонических деформаций. По зонам брекчирования в апикальных частях интрузии происходит подъем восходящего газоводного флюида к дневной поверхности [3–6].

Разгрузка пара и термальных вод на дневной поверхности образует Нижне-Кошелевскую термоаномалию, локализованную в овально-кольцевой геоморфологической структуре, вытянутой на 500 м вдоль глубоко врезанного оврага руч. Гремучий. Термоаномалия состоит из трех участков (полей) – Центрального, Верхнего и Нового. Наиболее характерными формами термопроявлений Центрального поля являются большие кипящие водоемы и теплые озера, мелкие кипящие водные и грязеводные котлы, пульсирующие источники, парогазовые струи, парящие грунты [7].

Центральный участок характеризуется высокими температурами парогазовых струй (до 120 ℃) и наличием кипящих водоемов, теплых озер, мелких кипящих водных и грязеводных котлов, пульсирующих источников и парогазовых струй. Температуры грунтов на этом участке не превышают 105 ℃ на глубине 0.8–3.0 метров. Верхний участок отличается более низкими параметрами парогазовых струй и водных источников. Новый участок, образовавшийся в 2008 году и к настоящему времени полностью остывший, представляет собой Нижне-Кошелевское Новое термальное поле, сформированное в результате внезапного прогрева горных пород парогазовым флюидом. По геоэлектрическим данным установлено, что поступление флюида происходило по трещинной зоне, связанной с Центральным участком термоаномалии.

Многолетние наблюдения авторского коллектива показали, что Нижне-Кошелевская термоаномалия является высокодинамичной геотермальной системой. Центральная часть аномалии расширяется за счет интенсивной геотермальной эрозии, периодически происходит повышение температуры парогазовых струй, сопровождающееся осаждением самородной серы.

Аппаратура и методика исследований

В 2009–2010 году проведены наземные гравиметрические исследования на площади Нижне-Кошелевского термального поля. Гравиметрия выполнялась автоматическим микропроцессорным гравиметром «CG-5 Autograv» (Scintrex, Канада). Диапазон измерений прибора >7000 мГал, разрешающая способность при снятии показаний 0.001 мГал. Геодезическое обеспечение осуществлялось GPS станциями GPS-станций Trimble (стационарной) и Topcon (переносной). Время записи на точках ≥15 мин. Точность определения координат пунктов исследования в плане составляла 0.04 м, по высоте 0.05 м. Наблюдения, выполненные в центральной части Нижне-Кошелевского месторождения на 1 км^2 по 10 параллельным профилям и одному поперечному (контрольному).

Полученные результаты

Гравиметрические работы позволили выделить сопряженные гравитационные аномалии, свидетельствующие о наличии плотностных неоднородностей в верхней части разреза. Карта аномального гравитационного поля была рассчитана для плотности пород промежуточного слоя 2.1 г/см³, соответствующей средней объемной плотности аргиллизированных пропилитов района. Модель представлена семью блоками, плотность пород в которых изменяется от 1.9 до 2.3 г/см³. В районе Нижне-Кошелевской термоаномалии выделяются три блока пород с плотностью 2.0, 2.1 и 2.2 г/см³ и мощностью

от 200 до 400 метров. Гравитационные аномалии имеют субширотное простирание, соответствующее направлению основной зоны разрывных тектонических нарушений вдоль ручья Гремучий.

Так же учитывая полученные геофизические данные и априорную геологическую информацию, построены сеточные (грид) двумерные плотностные модели предположительной структуры Нижне-Кошелевской термоаномалии по всем профилям на глубину до 800 м. Решения двумерной задачи гравиразведки для сеточных (грид) моделей проводилось в программе GravMagInv («ЛОЛГЕО», Россия). В результате моделирования в структуре термального поля выделяются участки с различными плотностными характеристиками, структура поля неоднородна. Данное моделирование позволяет оценить возможную структуру термального поля.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН № FWME-2025-0001, номер государственного регистрационного учета 125031703820-4.

Список литературы

1. *Вакин Е.А.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива / *Е.А. Вакин, З.Б. Декусар, А.И. Сережников, М.В. Спиченкова* // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР.1976(а). С. 58–84.

2. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки / Ред. *Ю.П. Масуренков* / М.: Наука. 1980. 172 с.

3. *Абкадыров И.Ф.* Опыт применения метода микросейсмического зондирования на геотермальных полях на примере Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная камчатка) / *И.Ф. Абкадыров, А.В. Горбатиков, М.Ю. Степанова, Ю.Ю. Букатов* // Материалы IX региональной молодежной конференции «Природная среда Камчатки». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2010. С. 49–60.

4. *Абкадыров И.Ф.* Новые данные о глубинном строении Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная Камчатка) / *И.Ф. Абкадыров, И.А. Нуждаев, Д.К. Денисов, А.В. Гобатиков, М.Ю. Степанова, С.О. Феофилактов* // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2018. С. 87-90.

5. *Рычагов С.Н.* Геолого-геофизическая модель крупнейшего на Камчатке Нижне-Кошелевского пародоминирующего геотермального месторождения / *С.Н. Рычагов, И.Ф. Абкадыров, Ю.Ю. Букатов, И.А. Нуждаев, С.О. Феофилактов* // Доклады АН. Т. 482. № 2. 2018. С. 183-187. DOI: 10.31857/s086956520003188-9

6. *Феофилактов С.О.* Слоисто-блоковая структура Паужетского геотермального месторождения (Камчатка) / *С.О. Феофилактов, С.Н. Рычагов, И.А. Нуждаев и др.* // М.: ГЕОС. 2025. 170 с. DOI: 10.34756/GEOS.2023.17.39148

7. *Калачева Е.Г.* Геохимия парогидротерм Кошелевского вулканического массива (Южная Камчатка) / *Е.Г. Калачева, С.Н. Рычагов, Г.П. Королева, А.А. Нуждаев* // Вулканология и сейсмология. 2016. № 3. С. 41–56.