

УДК 550.078.2

Строение Южно-Камбальной группы термальных полей Камбального вулканического хребта по геоэлектрическим данным (Южная Камчатка)

С.О. Феофилактов, И.А. Нуждаев, Ю.Ю. Букатов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
serg415@kscnet.ru*

Южно-Камбальная группа термальных полей включает в себя три крупных термоаномалии: Южно-Камбальное Ближнее, Южно-Камбальное Центральное, Южно-Камбальное Дальнее. На территории этих полей проведены электроразведочные работы методом ВЭЗ и рекогносцировочные работы методом АМТЗ. Определены горизонты пород с контрастными удельными электрическими сопротивлениями. Под всеми термоаномалиями выделяются области низкого удельного электрического сопротивления различной мощности, связанные с поверхностью. Такие зоны соответствуют наиболее обводненным и гидротермально измененным породам лавового комплекса.

Ключевые слова: термальное поле (термоаномалия), Камбальный вулканический хребет, удельное электрическое сопротивление, вертикальное электрическое зондирование

The Structure of the South Kambalny Ggroup of thermal fields of the Kambalny Volcanic Ridge According to Goelectrical Data (Southern Kamchatka)

Sergey O. Feofilaktov, Ivan A. Nuzhdaev, Yury Y. Bukatov

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

The South Kambal group of thermal fields includes three large thermal anomalies: the South Kambal Near, the South Kambal Central, and the South Kambal Far. On the territory of these fields, electrical exploration work was carried out using the VES method and reconnaissance work using the AMTS method. Rock horizons with contrasting electrical resistivities were determined. Under all thermal anomalies, there are areas of low electrical resistivity of various power associated with the surface. Such zones correspond to the most watered and hydrothermally altered rocks of the lava complex.

Keywords: thermal field (thermal anomaly), Kambalny volcanic ridge, electrical resistivity, vertical electrical sounding

Введение

Паужетский геотермальный район включает в себя три крупных структурных элемента: Паужетское геотермальное месторождение, Кошелевский вулканический массив и Камбальный вулканический хребет.

Кошелевские и Паужетские гидротермы достаточно хорошо изучены. На Паужетском геотермальном месторождении пробурено порядка 50 скважин и с 1966 г. успешно работает первая в нашей стране геотермальная электростанция. По результатам проведенных исследований сделан вывод об общем источнике питания Паужетского геотермального месторождения и термальных полей Камбального хребта (*Паужетские...*, 1965). Изученность самого Камбального хребта и его гидротермальной системы крайне мала в виду удаленности и труднодоступности термопроявлений, абсолютная высота расположения которых порядка 1000 м. Термопроявления Камбального вулканического хребта объединяются в 3 группы термальных полей: Северо-, Центральное- и Южно-Камбальные. Наиболее мощной по выносу тепла (около 2000 ккал/сек) является группа Южно-Камбальных термальных полей (*Структура...*, 1993). В последние годы коллектив лаборатории геотермии Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН совместно с

исследователями из других институтов изучает свойства и состав грунтов, проводит анализы воды на термальных полях, определяет петрофизические свойства пород и занимается геофизическими исследованиями на термальных полях Южной группы термальных полей Камбального вулканического хребта (Нуждаев и др., 2019; Рычагов и др., 2020; Феофилактов и др., 2020; Букатов и др., 2023; Большаков и др., 2021).

Авторским коллективом на протяжении нескольких полевых сезонов (2017–2022 гг.) проведены электроразведочные работы методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) на трех термальных полях Южно-Камбальной группы, а так же предварительные работы методом аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ) (Рис. 1).

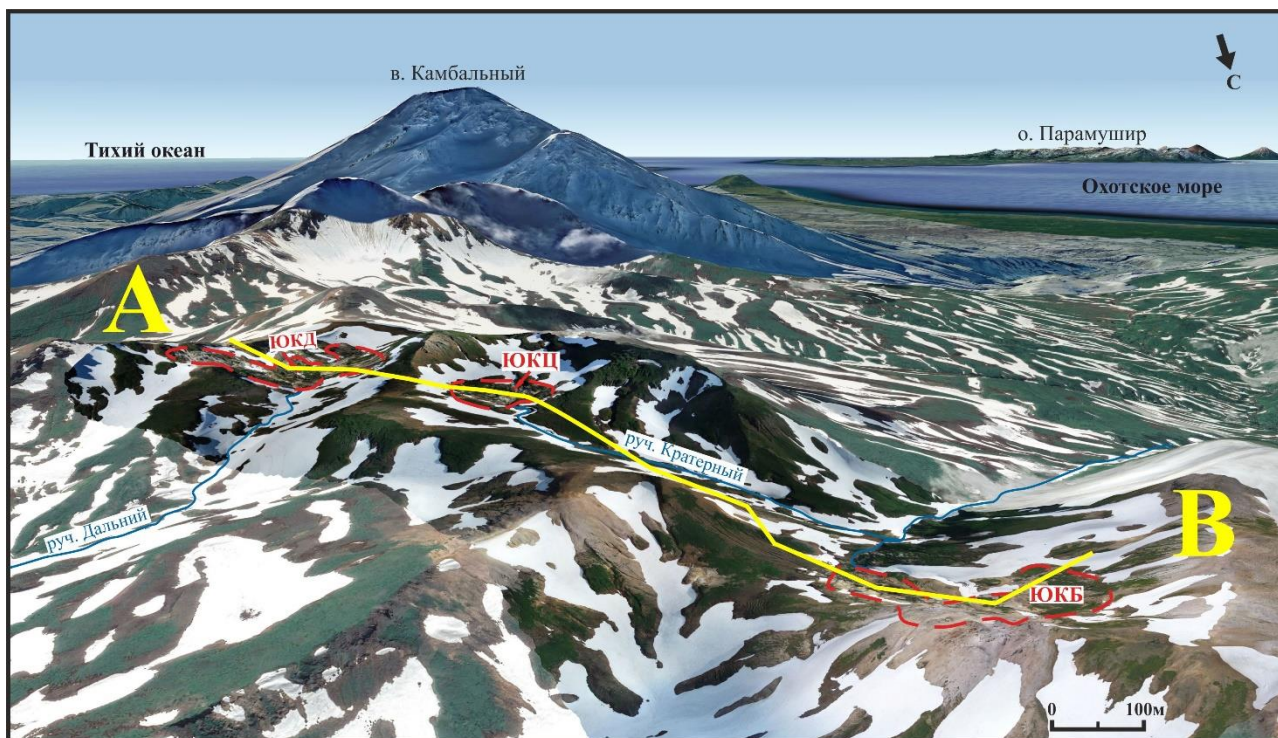


Рисунок 1 – Участок Южно-Камбальной группы термальных полей с привязкой геоэлектрических исследований. Красным пунктиром показаны границы термальных полей по изотерме 20 °С: ЮКБ – Южно-Камбальное Ближнее, ЮКЦ – Южно-Камбальное Центральное, ЮКД – Южно-Камбальное Дальнее. Желтым цветом (АВ), выделен электроразведочный профиль ВЭЗ

Методика и аппаратура исследований

Электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) выполнены симметричной четырехэлектродной расстановкой с использованием многофункционального измерителя МЭРИ-24 (ООО «Северо-Запад», Россия) и электроразведочного генератора АСТРА-100 (ООО «Северо-Запад», Россия). Зондирования выполнены в 66 точках с разносами питающей линии до 900 м. Измерения на термальных полях проведены по секущим профилям. Расстояния между пикетами на термальной площадке составили 40–50 м, за ее пределами порядка 100 м и более. Полученные кривые зондирования обрабатывались в специализированном программном пакете IPI2win. Измерения выполнены так же по профилю, пересекающему все три термальных поля. Длина профиля составила 3070 м. Обработка данных проведена в специализированном программном пакете IPI2win (ООО «Геотех», Россия).

Электромагнитные исследования выполнены методом аудио-магнитотеллурического зондирования (АМТЗ). Комплект измерительного оборудования состоял из двух пятиканальных станций MTU-5A (Phoenix Geophysics, Канада), которые регистрируют электрические (E_x , E_y) и магнитные (H_x , H_y , H_z) компоненты естественного электромагнитного поля. Диапазон регистрируемых периодов от 0.0001 до 1 с. Регистрация электрического поля проводилась с использованием четырехэлектродной крестообразной

установки с заземленными слабополяризуемыми электродами. Длина измерительных линий АМТЗ составила 50 м. Азимуты приемных линий выбраны 0° и 90° . Измерения выполнены в 6 пунктах, расстояние между которыми составило 300–1000 м.

Фактический материал исследований

По результатам электроразведки методом ВЭЗ построены псевдо- и геоэлектрический разрезы по профилям, пересекающим термальные поля. Остановимся более подробно на профиле зондирования проходящем через всю структуру Южно-Камбальной группы термальных полей (Рис. 2).

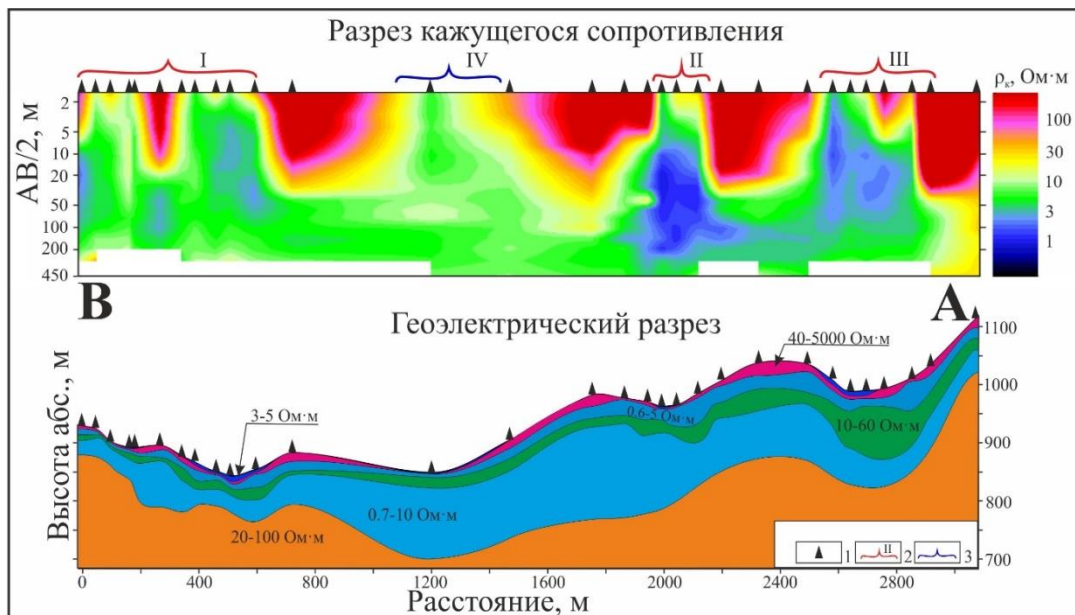


Рисунок 2 – Геоэлектрический разрез распределения кажущегося электрического сопротивления по результатам ВЭЗ. 1 – точки ВЭЗ; 2 – участки термальных полей по изотерме 20°C , I – ЮКБ, II – ЮКЦ, III – ЮКД; 3 – долина ручья Кратерного с обозначением его русла IV

Пониженными значениями сопротивлений, менее $1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, характеризуются участки основных разгрузок термальных вод на Южно-Камбальном Дальнем (ЮКД) и Южно-Камбальном Центральном (ЮКЦ) термальных полях, что отчетливо видно на разрезе кажущегося сопротивления. Южно-Камбальное Ближнее термальное поле (ЮКБ) характеризуется более высокими значениями удельного электрического сопротивления (у.э.с) – до $5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Для всех термальных полей выделяется один общий горизонт пород с низкими значениями у.э.с ($0.6\text{--}10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Горизонт имеет максимальную мощность до 200 м в русле ручья Кратерного (IV) и осложнен промежуточным слоем с повышенными значениями у.э.с. до $10\text{--}60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Мощность этого слоя изменяется по разрезу и максимальна под термальными полями. Вероятно, это обусловлено гидротермальными процессами – высоким насыщением пород минерализованными термальными водами. Отмечаются чашеобразные области погружения проводящего горизонта под всеми выделяемыми на разрезе структурами. Такие области могут представлять собой локальные геотермальные резервуары.

Аудиомагнитотеллурическое зондирование проведено на ограниченном отрезке профиля между Южно-Камбальным Дальним и Центральным термальными полями. При анализе кривых кажущегося сопротивления на точках зондирования АМТЗ были получены 1D-модели среды, которые показывают максимальную глубинность исследований около 400 м. Это напрямую связано с тем, что среднее удельное электрическое сопротивление пород в районе исследований не превышает $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Данный уровень у.э.с. согласуется с геоэлектрическим разрезом, построенным под данным ВЭЗ. Однако на рабочей модели выделяется крупная область пониженных электрических сопротивлений среды с уровнем около $1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на глубинах до 300–400 м под термальными полями. Принципиально этот предварительный результат согласуется с данными ВЭЗ и подтверждает наличие

проницаемой для геотермального флюида зоны под термальными полями. Требуется постановка дополнительных магнитотеллурических исследований для выделения глубинной структуры гидротермальной системы, существующей в районе южной группы термальных полей Камбального вулканического хребта.

Выводы

Южно-Камбальное Дальнее термальное поле приурочено к линейному тектоническому нарушению, что выделено мощной чашеобразной зоной пониженных значений у.э.с. Под Южно-Камбальным Центральным термальным полем определена крупная обводненная зона (геотермальный резервуар?) до глубины ≥ 300 м по данным ВЭЗ. Южно-Камбальное Ближнее термальное поле приурочено к экструзивному комплексу дацитового состава «Цветные Скалы». Комплекс играет важную роль в распространении и движении гидротермальных растворов в приповерхностной части геологического разреза. Выделяются участки пониженных значений у.э.с. уходящие на глубину более 300 м. По геоэлектрическим данным выделена, вероятная, гидродинамическая связь двух термальных полей южной группы – Дальнего и Центрального. Наличие такой связи с Южно-Камбальным Ближним термальным полем по имеющимся данным не прослеживается. ЮКБ и ЮКЦ термальные поля имеют общую связь с проницаемой зоной ручья Кратерный.

Авторы благодарны всем участникам структурно-геофизического отряда ИВиС ДВО РАН, а также сотрудникам лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН Ельцову И.Н., Потапову В.В., Поспеевой Е.В. за оказанное содействие в проведении исследований и получении результатов. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-27-00019.

Список литературы

1. *Большаков И.Е.* Экспресс-методы оценки степени изменения и свойств пород на термальных полях / *И.Е. Большаков, Ю.В. Фролова, Е.С. Житова, С.Н. Рычагов, Р.В. Веселовский* // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIV ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2021. С. 115–118.
2. *Букатов Ю.Ю.* Первые комплексные геофизические исследования структуры Южно-Камбального Ближнего термального поля (Камбальный вулканический хребет, Южна Камчатка) / *Ю.Ю. Букатов, И.А. Нуждаев, С.О. Феофилактов* // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVI ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2023. С. 123–126.
3. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с.
4. *Рычагов С.Н.* Южно-Камбальное Центральное термальное поле: структурное положение, гидрогеохимические и литологические характеристики / *С.Н. Рычагов, О.В.Кравченко, А.А. Нуждаев, М.С. Чернов, Е.В. Карташева, А.А. Кузьмина* // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 198–201.
5. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
6. *Нуждаев И.А.* Магнитометрические исследования на термальных полях Камбального вулканического хребта (Южная Камчатка) / *И.А. Нуждаев, Д.К. Денисов, С.О. Феофилактов* // Материалы XXII региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 163–166.
7. *Феофилактов С.О.* Строение зоны разгрузки парогидротерм Южно-Камбального Центрального термального поля по геофизическим данным (Южная Камчатка) / *С.О. Феофилактов, И.А. Нуждаев, Д.К. Денисов* // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 227–230.