

Первые комплексные геофизические исследования структуры Южно-Камбального Ближнего термального поля (Камбальный вулканический хребет, Южная Камчатка)

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

The first integrated geophysical studies of the structure of the South Kambalny Blizhniy thermal field (Kambalny volcanic ridge, Kamchatka)

Bukatov Yu. Yu., Nuzhdaev I. A., Feofilaktov S. O.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: tomgf@mail.ru*

На площади Южно-Камбального Ближнего термального поля проведены комплексные геофизические исследования. Построена и описана вероятная сеточная (грид) двумерная модель структуры поля, до глубины 800 м. Предложены два равнозначных варианта интерпретации.

Введение

Южная оконечность Камчатки характеризуется интенсивной и разнообразной геотермальной деятельностью, основная часть которой сосредоточена в Паужетско-Камбально-Кошелевском районе. Авторский коллектив многие годы успешно проводит комплексные геофизические исследования на основных объектах этого района.

Гидротермальная деятельность сосредоточена в осевой зоне Камбального вулканического хребта. На высотах от 700 до 1000 м протягивается почти 10-километровая полоса с большим количеством выходов паровых струй. Термальная активность проявляется в самой разнообразной форме и объединяется в 3 группы термальных полей: Северо-, Центральное- и Южно-Камбальные. Наиболее интересной для исследований и мощной по выносу тепла является Южно-Камбальная группа [2]. В этой группе выделяют: Южно-Камбальное Ближнее (ЮКБ), Южно-Камбальное Центральное (ЮКЦ) и Южно-Камбальное Дальнее (ЮКД) термальные поля.

ЮКБ приурочено к глубокой кратерообразной котловине в верховьях правой ветви руч. Кратерного. Выходы пара наблюдаются на двух больших участках дна котловины. Термальное поле вытянуто с запада на восток и имеет размер 400×150 м. Все выходы пара обладают небольшой мощностью, расход отдельных струй не превышает 10 г/с. Температура «сухих струй» пара 98 °С, общая тепловая мощность поля 655 ккал/с [1].

В период с 2017 по 2022 гг. авторами были проведены геофизические исследования методом магнитометрии, вертикальные электрические зондирования и гравиметрические наблюдения. В работе представлен анализ полученных результатов для площади ЮКБ по профилю А-Б юго-западного – северо-восточного простирания (рис. 1).

Аппаратура и методика исследований

Гравиметрическая съемка проведена 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 Leica GR 10 с антеннами AR 10. Одна станция использовалась в качестве базовой, другая перемещалась по профилю. Время записи на точках ≥15 мин. Гравиметрические наблюдения выполнены в 16 пунктах со средним шагом 50 м, протяженность профиля А-Б – 800 м.

Магнитная съемка на площади ЮКБ выполнялась магнитометром GSM-19W (GEM, Канада). Шаг съемки 5 м, между профилями 25-100 м. Всего было выполнено около 3000 рядовых замеров магнитного поля на территории 0.5 км². Для отслеживания суточных вариаций магнитного поля использовались данные геофизической обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН.

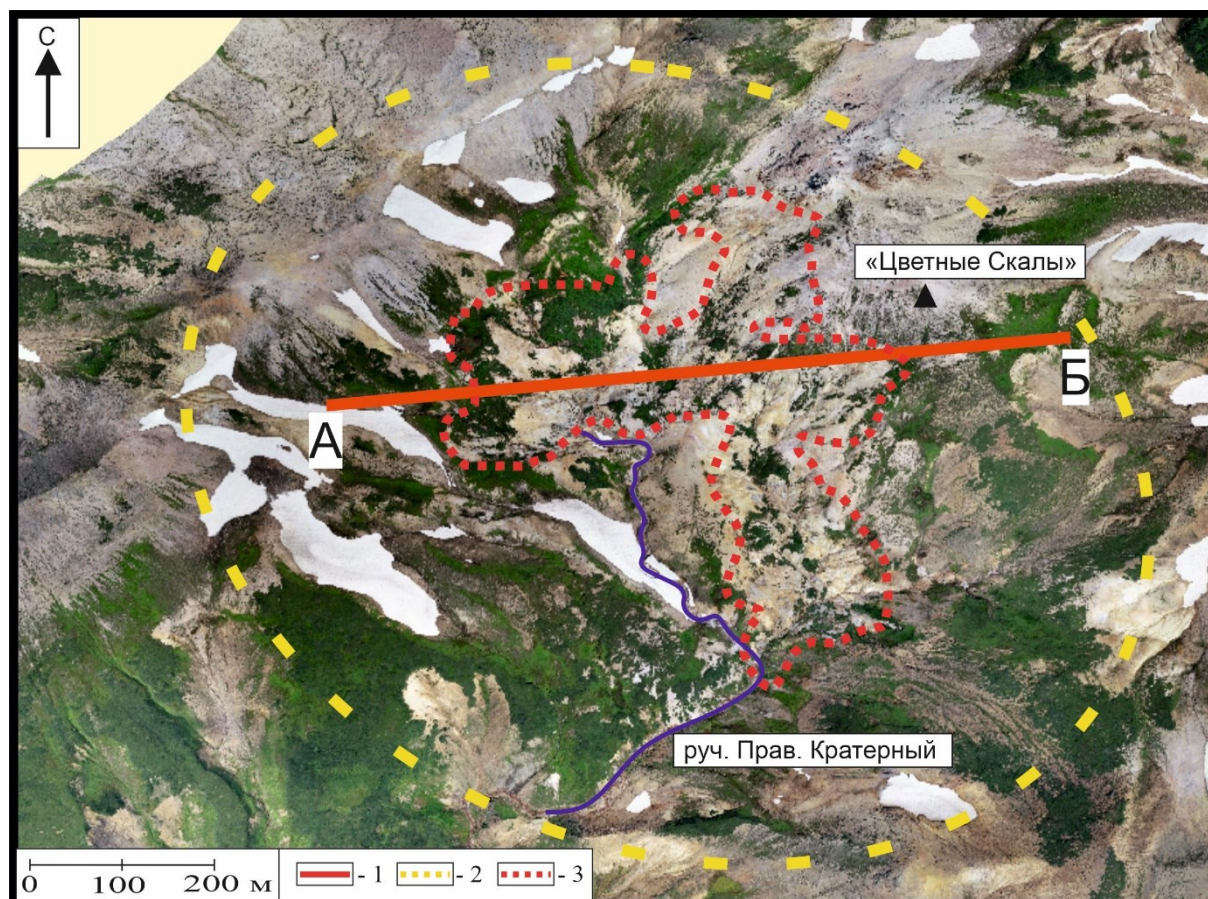


Рис. 1. Ортофотоплан Южно-Камбального Ближнего термального поля: 1 – профиль геофизических исследований (А-Б), 2 – границы магнитной съемки, 3 – температурная граница поля по 20 °С изотерме.

Электроразведочные работы методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) выполнены симметричной четырех-электродной расстановкой с использованием многофункционального измерителя МЭРИ-24 (ООО «Северо-Запад», Россия) и электроразведочного генератора АСТРА-100 (ООО «Северо-Запад», Россия). Зондирования выполнены в 11 точках с разносами питающей линии до 900 м. Измерения проведены по профилю А-Б, длина которого составила 700 м. Расстояние между пикетами на термальной площадке составляло 50 м, за ее пределами – около 100 м. Полученные кривые зондирований обрабатывались с помощью специализированного программного пакета IPI2win (ООО «Геотех», Россия).

Полученные результаты

По результатам магнитометрических исследований построена карта аномалий магнитного поля ΔT_a для площади ЮКБ. Термальное поле, по изотерме 20 °С, находится в зоне положительных значений магнитного поля до 500 нТл., а в южной части выделяется отрицательная магнитная аномалия ΔT_a , распространяющаяся до ЮКЦ [3]. Профиль А-Б проходит в области положительных значений, по периферии до +400 нТл, в центральной части значения уменьшаются до первых десятков +14 нТл. Также на термальном поле проведена площадная температурная съемка грунтов в 2021 г. Максимальные температуры достигают 105 °С. Выделены два высокотемпературных участка: верхний, вытянутый субширотно, и нижний – субмеридионально по притоку руч. Кратерного. Разграничивает их оползневое тело. Профиль проходит через верхний высокотемпературный участок термоаномалии и выходит за его пределы.

По результатам электроразведки методом ВЭЗ по профилю А-Б построен геоэлектрический разрез, он относится к типу Н. Все породы разреза гидротермально изменены. Выделен проводящий горизонт с максимальной мощностью в западной части профиля до 110 м и удельным электрическим сопротивлением (у.э.с.) до 8 Ом·м, который соответствует проницаемым породам высокой влагонасыщенности. Этот горизонт неоднороден по своему строению и осложнен промежуточным слоем с сопротивлением до 25 Ом·м, который, по-видимому, обладает низкими фильтрационными свойствами, что позволяет удерживать гидротермы в приповерхностной части геологического разреза. В основании разреза залегают породы с у.э.с. до 100 Ом·м, однако в восточной части профиля форма кривых меняется на тип «НК», что указывает на проводящее основание.

В результате гравиметрических исследований получен график аномального гравитационного поля Δg в редукции Буге. При оценке распределения плотности пород учитывались лабораторные исследования физических и физико-механических свойств образцов [4]. Район термального поля сложен породами от андезибазальтов и андезитов до интенсивно измененных пород гидротермально-метасоматическими процессами. Плотность и магнитная восприимчивость изменяется: андезиты неизменные – 2.71 г/см³, 28.8·10⁻³ СИ; сильноизмененные – 1.86 г/см³, 1.4·10⁻³ СИ; сернистые опалиты – 1.66 г/см³, 0.08·10⁻³ СИ.

Учитывая все результаты, полученные в ходе геофизических исследований, а также априорную геологическую информацию, построены сеточные модели структуры ЮКБ по профилю А-Б на глубину до 800 м (рис. 2). Решение двумерной задачи гравиразведки и магниторазведки для сеточных (грид) моделей проводилось в программе GravMagInv («ЛЮЛГЕО», Россия).

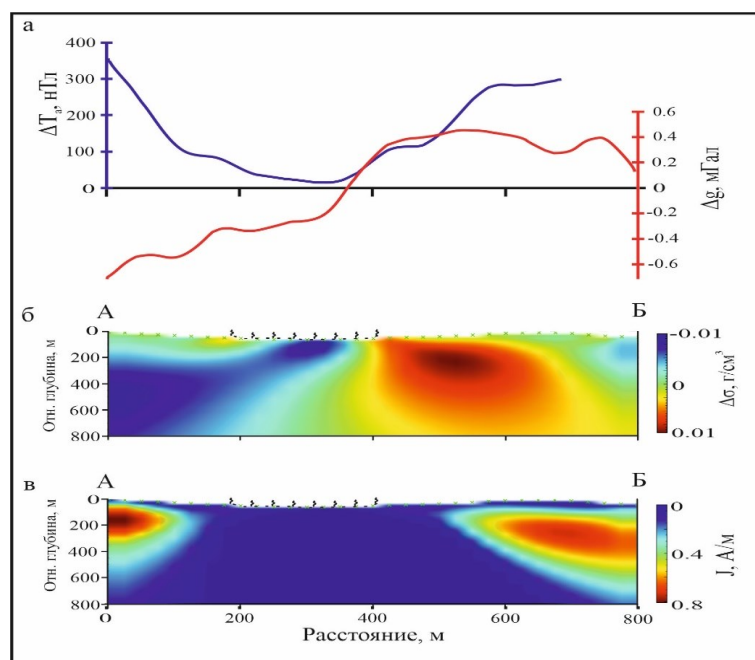


Рис. 2. Вероятная сеточная (грид) двумерная модель структуры ЮКБ. а – графики распределения аномального магнитного ΔT_a и гравитационного Δg полей. Сеточные модели структуры ЮКБ по профилю А-Б по гравиразведочным (б) и магниторазведочным (в) данным.

На графиках распределения потенциальных полей (рис. 2а) наблюдается ряд определенных закономерностей. Центральная часть термального поля характеризуется низкими значениями Δg и ΔT_a . Повышение значений графиков (ΔT_a и Δg) в восточной части соответствует выходу экструзивного комплекса пород в районе «Цветных скал». Западная часть профиля выходит на границу кольцевой структуры борта ЮКБ и

характеризуется повышенными значениями ΔT_a (+352.7) и низкими значениями Δg (-0.708).

При моделировании верхней части разреза за основу взят слоисто-горизонтальный геоэлектрический разрез, полученный по данным ВЭЗ. Построены сеточные модели предположительной структуры ЮКБ. Сеточная модель, по данным аномального гравитационного поля (Δg), имеет четкую структуру. Выделяется зона с низкими относительными значениями плотности до -0.01 г/см^3 , и две области повышенных значений в начале и в конце профиля. На магнитной модели хорошо выделяются 3 области: две с высокими значениями намагниченности (J , А/м) на краях профиля и одна с низкими значениями – в центральной его части. Термальное поле выделяется минимальными значениями намагниченности и относительной плотности, а также наличием проводящего горизонта. В районе «Цветных скал» выделены повышенные значения плотности, намагниченности, присутствует высокоомный горизонт, а также изменяется тип кривых ВЭЗ. Таким образом, эта зона на ЮКБ может иметь два равнозначных варианта интерпретации: 1) это приповерхностная зона кипения гидротерм, уходящая на глубину, приуроченная к контактам экструзии «Цветные Скалы»; 2) подводящий канал напорных термальных вод, вскипающих непосредственно у дневной поверхности. Этот вариант возможен в связи с наличием на поверхности поля нескольких источников щелочных термальных вод.

Авторы выражают глубокую признательность всем участникам структурно-геофизического отряда ИВиС ДВО РАН за содействие в проведении полевых исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-27-00019, <https://rscf.ru/project/22-27-00019/>.

Список литературы

1. Белоусов В.И., Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г. Геологическое строение и гидрогеологические особенности Паужетской гидротермальной системы В кн.: Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Отв. ред. В.М. Сугробов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 23-57.
2. Нухдаев И.А., Феофилактов С.О., Букатов Ю.Ю., Денисов Д.К. Геофизические исследования Южно-Камбального Центрального термального поля (Камбальный вулканический хребет, Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXV Ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2022 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2022. С. 146-149.
3. Нухдаев И.А., Денисов Д.К., Феофилактов С.О. Магнитометрические исследования на термальных полях Камбального вулканического хребта (Южная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 163-166.
4. Фролова Ю.В., Рычагов С.Н., Чернов М.С. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных термальных полей (Южная Камчатка) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 1. С. 36-51.