УДК 550.078.2

Строение Кошелевского вулканического массива по геоэлектрическим данным (Южная Камчатка)

С.О. Феофилактов, О.М. Самойлова

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

Кошелевский вулканический массив – крупное вулканическое сооружение, которое включает в себя две мощные термоаномалии (геотермальные месторождения): Нижне-Кошелвское, Верхне-Кошелевское. На территории этих полей проведены электроразведочные работы методами ВЭЗ и МТЗ. Определены горизонты пород с контрастными удельными электрическими сопротивлениями. Выделяются области низкого удельного электрического сопротивления на глубине 500 м, непосредственно под крупными термальными полями Кошелевского вулканического массива, соответствующие наиболее обводненным и гидротермально измененным породам лавового комплекса.

Structure of the Kosheleva Volcanic Massif Based on Geoelectrical Data (South Kamchatka)

Sergey O. Feofilaktov, Olga M. Samoylova

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

The Kosheleva volcanic massif is a large volcanic structure encompassing two powerful thermal anomalies (geothermal fields): Nizhne-Koshelvskoye and Verkhne-Koshelvskoye. Electrical exploration using VES and MTS methods was conducted within these fields. Rock horizons with contrasting electrical resistivities were identified. Areas of low electrical resistivity are identified at a depth of 500 m, directly beneath the large thermal fields of the Koshelev volcanic massif, corresponding to the most water-saturated and hydrothermally altered rocks of the lava complex.

Введение

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

Наибольший интерес представляют Паужетские и Кошелевские гидротермы, которые достаточно хорошо изучены. На Паужетском геотермальном месторождении пробурено порядка 50 скважин и с 1966 г. успешно работает первая в нашей стране геотермальная электростанция [1]. По выносу тепла, интенсивности и концентрированности гидротермальной деятельности с Кошелевским массивом на Камчатке может сравниться только Долина Гейзеров и такие действующие вулканы, как Мутновский и Шивелуч: вынос тепла на Нижне-Кошелевской термоаномалии Е.А. Вакин с коллегами оценивают в 25 000 Ккал/сек, Верхне–Кошелевской – 50 000 Ккал/сек [2] Массив состоит из нескольких сросшихся, в различной степени разрушенных вулканов, экструзивных куполов и субвулканических тел. Предполагается неглубокое залегание магматического очага на участке Нижне-Кошелевских парогидротерм [3].

Известно, что удельное электрическое сопротивление вулканогенных пород главным образом зависит от степени их пористости (трещиноватости) и обводнённости, что создает предпосылки к использованию методов электроразведки на геотермальных месторождениях. Полученная информация о распределении электропроводности пород с глубиной позволяет выделять геотермальные резервуары, зоны питания и циркуляции растворов в структуре месторождения.

Коллективом сотрудников структурно-геофизического отряда лаборатории геотермии Института вулканологии сейсмологии ДВО РАН на протяжение нескольких полевых сезонов проведены электроразведочные работы методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) на территории Нижне-Кошелевского термального поля, а также работы методом магнитотелурического зондирования (МТЗ) на термальных полях Кошелевского вулканического массива (рис. 1).

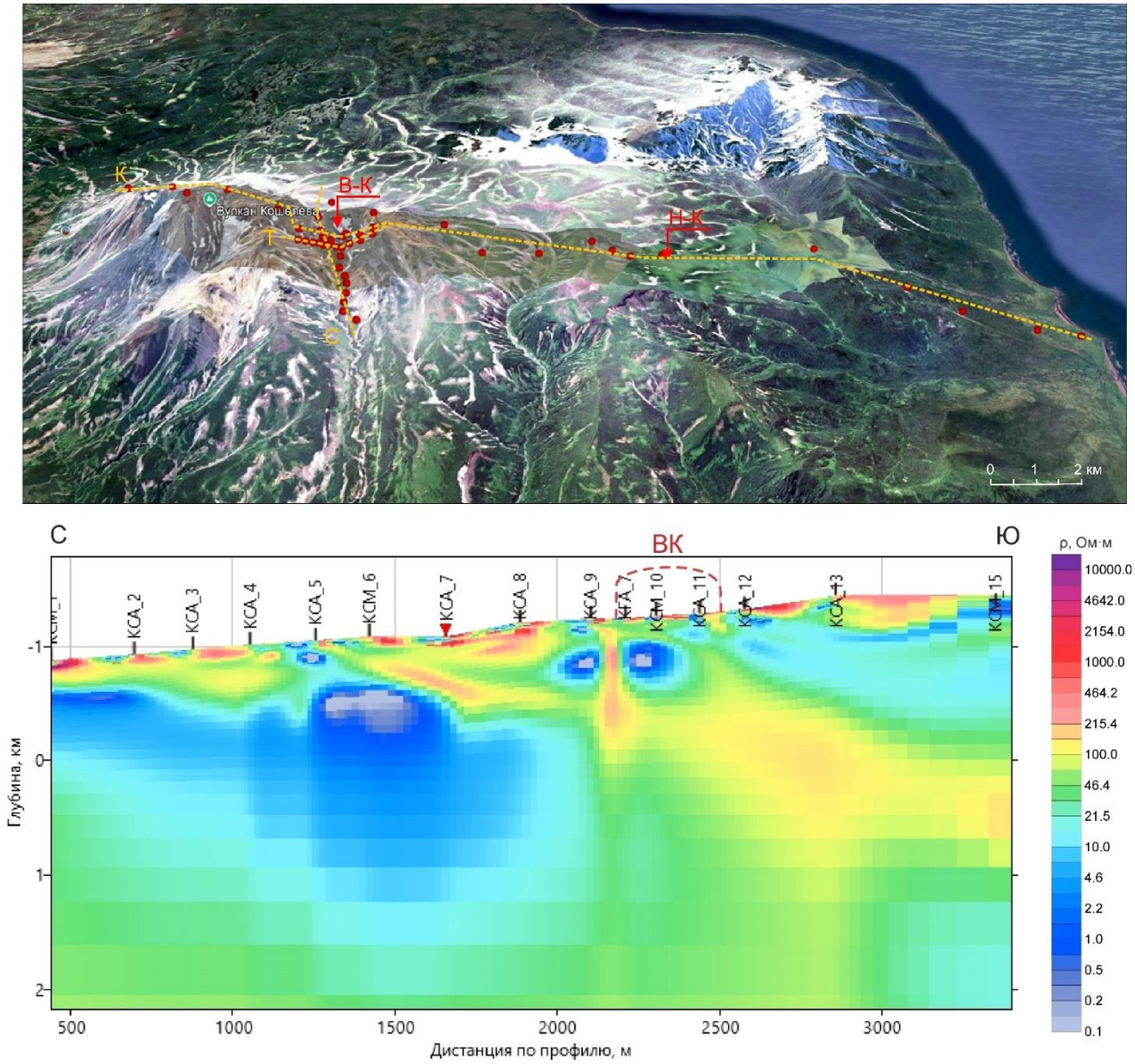


Рисунок 1 – Схема расположения точек МТЗ на территории Кошелевского вулканического массива и геоэлектрический разрез по профилю С района Верхне-Кошелевского термального поля (ВК) по магнитотеллурическим данным

Методика и аппаратура электроразведочных работ

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). Обработка данных проведена в специализированном программном пакете IPI2win (ООО «Геотех», Россия). Измерения выполнены по двум профилям широтного и меридионального простирания, пересекающим Нижне-Кошелевское термальное поле.

Глубинные электромагнитные исследования методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и аудио-магнитотеллурического зондирования (АМТЗ) на этом объекте

проведены впервые. В рамках федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты» в Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН были приобретены два комплекса магнитотеллурических зондирований для регистрации электромагнитного поля «NORD» (ООО «Северо-Запад», Россия). Первые полевые работы этими комплексами выполнены на Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении. Производилась регистрация электрических и магнитных компонент естественного электромагнитного поля (Ex, Ey, Hx, Hy, Hz). Магнитотеллурические исследования выполнялись двумя станциями с использованием однотипных регистраторов «NORD Plus» и двух видов датчиков регистрации компонент электрического и магнитного поля. Применялись широкополосные индукционные датчики IMS-15 с диапазоном измерений от 0.001 до 10 000 Гц в комплекте с неполяризующимися графитовыми электродами NW-4 для выполнения МТЗ и индукционные датчики IMS-05 с диапазоном измерений от 5 до 20 000 Гц в комплекте с штыревыми латунными электродами для АМТЗ. Длина измерительных электрических диполей четырехэлектродной крестообразной установки составила 60 м для АМТЗ и 100 м для МТЗ. Азимуты расстановки приемных линий выбраны 0º и 90º. Время записи станций определялось опытным путем и составило 2–2.5 часа для записей АМТЗ и 30–36 часов – для МТЗ. Обработка полученных данных проводится с использованием специального пакета программ, CalPro, EPI-KIT и MT-Corrector (ООО «Северо-Запад», Россия)

На Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении зондирования выполнены в 24 точках по трем профилям с расстоянием между пикетами 100–250 м для АМТЗ и 500–800 м между точками МТЗ. Основной профиль А-Б проходил через три крупные термовыводящие структуры с севера на юг: палеогидротермальная система в структуре руч. Аргиллизитовый, современная система в долине руч. Гремучий, к которому приурочена Нижне-Кошелевская термоаномалия и крупная проницаемая зона трещиноватости по долине руч. Прямой. Дополнительный профиль Г-Д расположен был в верховье руч. Прямой и пересекал верхний участок Нижне-Кошелевской термоаномалии. Он состоял из пяти пунктов АМТЗ и одного МТЗ. Профиль В-Г включал четыре пункта МТЗ и характеризовал глубинную часть геотермального месторождения.

В августе 2025 года проведены измерения на площади Верхне-Кошелевской термоаномалии по 3 секущим профилям с аналогичным шагом и выполнены работы по длинному профилю (протяжённость 18 км) пересекающему Кошелевский вулканический массив. Зондирования выполнены в 43 точках (рис. 1).

Фактический материал исследований

По результатам электроразведки методом ВЭЗ построены псевдо- и геоэлектрический разрезы по профилям, пересекающим Нижне-Кошелевское термальное поле. По результатам МТЗ проведен анализ полученных кривых зондирований и построены предварительные геоэлектрические модели для Нижне-Кошелевского и Верхне-Кошелевского термальных полей.

Полученный геоэлектрический разрез Нижне-Кошелевского геотермального месторождения можно разделить на три области по удельному электрическому сопротивлению. Интерес представляет мощный проводящий горизонт с УЭС менее 10 Ом·м, который прослеживается по всему разрезу и погружается на глубину в центральной части профиля. Аналогичная зона выделяется по данным ВЭЗ в центральной части Нижне-Кошелевского термального поля. Вероятно, выделяемая область соответствует породам, насыщенным гидротермальными растворами. Горизонт выходит к поверхности непосредственно под Нижне-Кошелевским термальным полем. Ручьи на территории месторождения трассируют тектонические нарушения, им соответствуют изолинии 20–30 Ом·м на геоэлектрическом разрезе. Между руч. Гремучий и Прямой на глубине 500 м выделяется высокоомное тело, уходящее на глубину, интерпретируемое, основываясь на работе [4], как субвулканическая интрузия. Полученные результаты принципиально согласуются с данными микросейсмического зондирования [5], но существенно уточняют

строение Нижне-Кошелевской термоаномалии на глубину до 3 км. По-видимому, основной термоподводящий канал приурочен к тектоническому нарушению, которое трассируется ручьем Гремучий.

По результатам МТЗ под Верхне-Кошелевской термоаномалией выделяется локализованная область низких значений УЭС на глубине порядка 500 м, которая характеризует приповерхностный геотермальный резервуар, питающий гидротермы (рис. 1). Мощная область низких значений УЭС в северной части профиля приурочена к долине реки Шумная и обусловлена речной долиной.

Выводы

По результатам первичной обработки геоэлектрических данных определены области пониженных значений УЭС на глубине 500 м, непосредственно под крупными термальными полями Кошелевского вулканического массива. Такие участки соответствуют зонам накопления (конденсации) высокоминерализованных термальных вод. Между руч. Гремучий и Прямой на Нижне-Кошелвском месторождении на глубине 500 м выделяется тело с высокими значения УЭС, уходящее на глубину, которое соответствует субвулканической интрузии. Вероятно, основной термоподводящий канал Нижне-Кошелевского месторождения приурочен к тектоническому нарушению, которое трассируется ручьем Гремучий.

Авторы благодарны всем участникам структурно-геофизического отряда ИВиС ДВО РАН, а также сотрудникам компании ООО «Северо-Запад» за оказанное содействие в проведении исследований и получении результатов.

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. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука. 1965. 208 с.

2. *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. 1976. С. 57–78.

3. *Поздеев А.И.* Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка / *А.И. Поздеев, И.Н. Нажалова* // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32–45.

4. *Писарева М.В.* Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52–63.

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 др.* // Доклады АН. 2018. Т. 482. № 2. С. 183–187.