

Опыт применения магнитотеллурического зондирования в изучении геоэлектрических особенностей Кеткинского месторождения термальных вод, Центральная Камчатка

Логинов В.А.¹, Новиков Ю.В.¹, Воронин П.О.¹, Бергаль-Кувикас О.В.^{1,2}

Application of magnetotelluric sounding in the study of geoelectric features of the Ketkino hydrothermal field, Central Kamchatka

Loginov V.A., Novikov Yu.V., Voronin P.O., Bergal-Kuvikas O.V.

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: naick1609@mail.ru*

² *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: kuvikas@mail.ru*

На примере изучения Кеткинского месторождения термальных вод приводится сопоставление результатов 1D моделирования по данным магнитотеллурического зондирования и распределение в приповерхностной части температур термальных вод по данным бурения на основе фондовых отчетов.

Введение

Тектоническая граница Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций (МПЗ) формирует Центральную Камчатку. МПЗ образована вдоль продолжения глубинного Авачинского трансформного разлома, который служит естественной границей между разновозрастными сегментами слэба, обладающими различной историей формирования [1]. Сопоставление геофизических данных слэба свидетельствует об аномальной зоне Центральной Камчатки [3]. Моногенные шлаковые конусы хаотично распределены вдоль разрывных нарушений МПЗ и отражают границу сегментов дуги Центральной Камчатки [9]. В основании северной части МПЗ залегают меловые вулканогенно-осадочные породы [4].

Кеткинское месторождение термальных вод (КМТВ) расположено на юго-западном подножье вулкана Корякский (рис. 1). Происхождение вод дискуссионно. Так, на основании изотопно-геохимических характеристик вод и газов предполагается разбавление захороненных морских вод поверхностными водами и термогенное происхождение метана и сероводорода [8]. По результатам моделирования установлено, что тепловое питание КМТВ осуществляется за счет гидравлической связи плоско-ориентированных даек Корякского вулкана [2]. Таким образом, цель настоящей работы – на основании данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) определить глубинное геоэлектрическое строение земной коры в районе КМТВ, выделить аномальные зоны, которые могут быть связаны с глубинным теплоносителем, геотермальным резервуаром, экранирующим слоем (флюидоупор) КМТВ, коррелировать полученные данные с фактическими параметрами распределения температур в скважинах и составом вмещающих пород по фондовым источникам информации.

Методика работ и обработки магнитотеллурических данных

В ходе пробных работ в районе КМТВ выполнены наблюдения методом МТЗ в диапазоне периодов 0.001-900 с. Расстояние между пунктами измерений – 4-10 км. Для регистрации электрического поля использовалась крестообразная установка с линиями 80 м (азимуты 30° и 120°). Магнитные датчики (МТС-50Н) ориентировались по тем же азимутам, размещались в ямы глубиной 30 см для подавления помех. Применялась методика синхронных измерений. Обработка данных выполнена стандартным ПО, получены сглаженные кривые. Из-за редкой сети наблюдений была выполнена 1D-инверсия по двум близким пунктам в районе КМТВ.

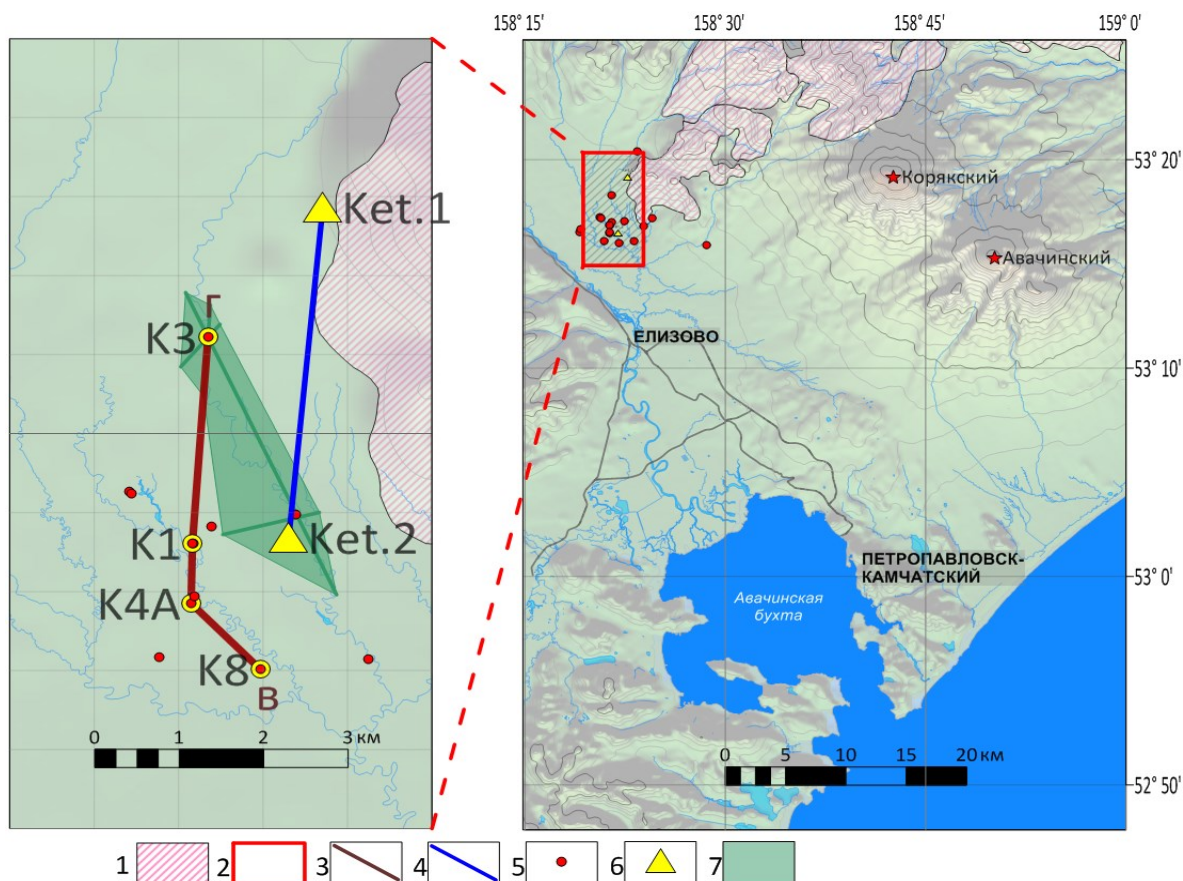


Рис. 1. Обзорная карта района работ по КМТВ. 1 – пиначевский экструзивный массив; 2 – район работ; 3 – геологический разрез В-Г [7]; 4 – положение 1D разреза по данным МТЗ; 5 – локализация скважин; 6 – использованные пункты МТЗ; 7 – интрузив габбродиоритового состава.

Результаты

В результате 1D инверсии получены данные о распределении сопротивления с глубиной под каждым пунктом наблюдения, по которым был построен схематичный разрез до 35 км (рис. 2). В верхней части разреза выделяется высокоомный слой со значением удельного сопротивления 500-550 Ом·м, возможно, являющийся флюидоупором. Он подстилается проводящим горизонтом с сопротивлениями 25-60 Ом·м. Этот слой, по мнению авторов, вероятнее сложен вулканогенно-осадочным, высокопористыми породами, которые составляют геотермальный резервуар. Его мощность составляет порядка 2 км. По данным бурения, на этих глубинах вскрыты меловые отложения (рис. 3). Основной особенностью на схематическом разрезе является проводящая, относительно вмещающих пород, область с выделенной кровлей на глубине ~13 км на пункте Ket.2 и ~7 км на пункте Ket.1 со значениями удельного сопротивления 80 и 40 Ом·м соответственно. Данный слой, скорее всего, является коровым проводящим слоем, выделяемым другими авторами во многих частях Камчатки [5], природу которого связывают с повышенной проницаемостью коры, ее расслоенностью и, возможно, насыщенностью жидкими флюидами [6]. Интересно отметить, что глубина залегания кровли этого проводящего слоя, по данным 1D инверсии, увеличивается в южном направлении и в районе КМТВ составляет ~13 км. Также, с понижением залегания кровли увеличивается и мощность, которая меняется от ~9 км в пункте Ket.1 до ~15 км в пункте Ket.2. Это может быть связано как с тектоническими особенностями района, так и с глубинными магматическими процессами, протекающими с внедрением интрузивных тел. Нельзя исключать и редкость сети наблюдений, что не дало возможности более детально подчеркнуть геоэлектрические особенности КМТВ на глубине. Исходя из того, что

работы были пробными, планируется провести более детальные наблюдения в районе выделенных особенностей геоэлектрического строения. Также авторы, используя данные прошлых лет [7], сопоставили распределение температур термальных вод и состав пород по данным бурения с полученными данными об электрическом сопротивлении в приповерхностной и более глубинной части (рис. 3). Как мы видим на разрезе, бурением была подсечена габбродиоритовая интрузия на скважине К3. Эта интрузия также была выделена на скважине К2 [7]. Картина электропроводности, по данным МТЗ, никак не отражает наличие приповерхностных интрузивных тел. Это может быть связано как с разрешающей способностью метода, так и с редкой сетью наблюдения, как было сказано ранее. Несомненно, для изучения приповерхностной части разреза нужно дополнительно выполнить измерения в более высоком частотном диапазоне, методом аудиомагнитотеллурического зондирования с более детальным шагом, так как размер интрузий и другие особенности строения могут быть не обнаружены с шагом, обычно используемым для изучения глубинных частей земной коры.

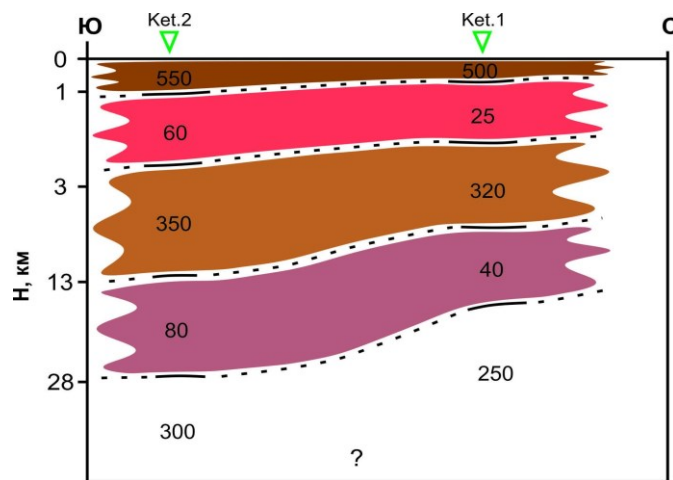


Рис. 2. Схематический разрез по данным одномерной 1D инверсии МТ-данных. Числами обозначено удельное электрическое сопротивление в Ом·м. Сплошными линиями обозначены границы, выделенные по данным инверсии, штрих-пунктиром – предполагаемые границы.

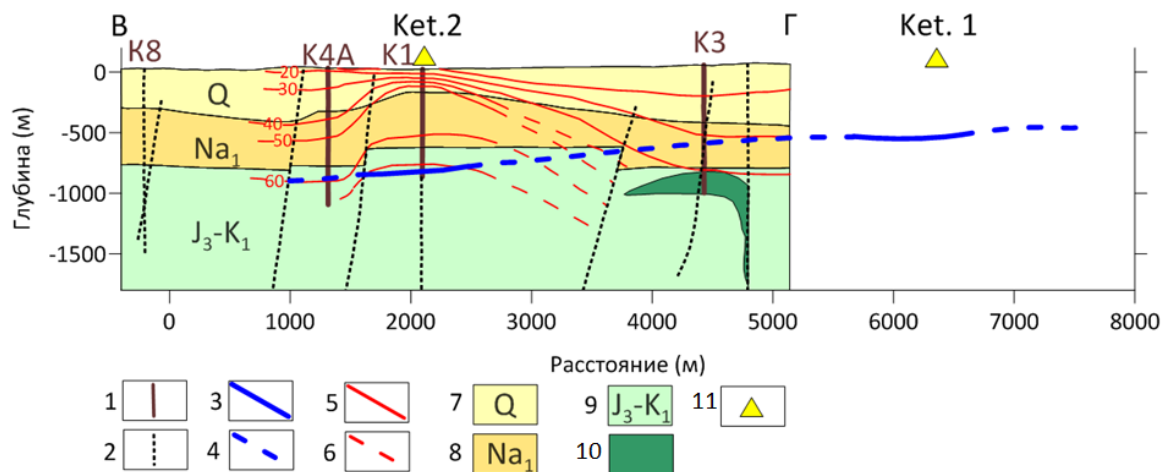


Рис. 3. Совмещенные с геологическим разрезом В-Г [7] полученные данные МТЗ. 1 – скважины Кеткинского геотермального месторождения; 2 – тектонические нарушения, установленные дешифрованием и геофизическими работами, и частично заверенные бурением; 3, 4 – граница, выделенная по данным МТЗ, пунктиром – предполагаемая граница; 5, 6 – изотермы; 7 – нерасчлененная тоща рыхлых четвертичных отложений; 8 – алнейская серия верхнемиоценового-плиоценового возраста; 9 – верхняя юра – нижний мел; 10 – габбродиориты; 11 – пункты МТЗ.

Выводы

По результатам пробных работ на КМТВ методом МТЗ построен схематический разрез по результатам 1D инверсии. Выделены основные особенности распределения электрического сопротивления с глубиной. Результаты 1D инверсии сопоставлены с данными о распределении температур термальных вод и с составом пород в приповерхностной части разреза по данным бурения. Исходя из разрешающей способности МТЗ, для более детального изучения особенностей строения приповерхностной части авторами предлагается выполнить измерения в более высоком частотном диапазоне, методом аудиомагнитотеллурического зондирования с привлечением результатов других геофизических методов. Полученные значения будут важны не только для определения генетической приуроченности КМТВ, но и для понимания процессов формирования моногенного вулканизма МПЗ.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 22-77-10019 (<https://rscf.ru/project/22-77-10019/>).

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Бергаль-Кувикас О.В. Геодинамические условия образования адакитов и NB-обогащенных базальтов (NEAB) на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2015. № 5. С. 1-13. <https://doi.org/10.7868/S0203030615050028>
2. Воронин П.О., Кирюхин А.В. Термогидродинамическое моделирование Корякско-Кеткинской гидротермальной системы // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2023), 4-10 сентября 2023 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2023. С. 41-45.
3. Гордеев Е.И., Бергаль-Кувикас О.В. Строение и вулканизм зоны субдукции на Камчатке // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2022. № 502(2). С. 72-76. <https://doi.org/10.31857/S2686739722020086>
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Южно-Камчатская. Масштаб 1:200 000. Листы N-57-XXI (Северные Коряки), N-57-XXVII (Петропавловск-Камчатский), N-57-XXXIII (сopка Мутновская) / Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ. 2000. 302 с.
5. Мороз Ю.Ф. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. М. Наука, 1991. 182 с.
6. Мороз Ю.Ф., Гонтовая Л.И. Глубинное строение района Авачинско-Корякской группы вулканов на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2003. № 4. С. 3-10.
7. Нурмухамедов А.Г., Задирей А.В., Попруженко С.В. Отчет об общих поисках термальных вод в северо-западной части Петропавловского геотермального района, 1-я очередь – геофизические работы 1987-1989 гг. (N-57-89-А, Б, В, Г; N-57-101-А, Б; N-57-102-А). Елизовская партия. 1989. Т. 2. 463 с.
8. Таран Ю.А., Рябинин Г.В., Покровский Б.Г. и др. Минеральные воды Авачинской депрессии, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2021. № 2. С. 22-39. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-2-50-22-39>
9. Bergal-Kuvikas O., Bindeman I., Chugaev A. et al. Pleistocene-Holocene monogenetic volcanism at the Malko-Petropavlovsk zone of transverse dislocations on Kamchatka: Geochemical features and genesis // Pure and Applied Geophysics. 2022. V. 179. № 11. P. 3989-4011. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-02956-7>