

## РАЗДЕЛ II. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ CHAPTER II. HYDROTHERMAL SYSTEMS

УДК 550.838, 553.078.2

### **Новые данные о строении термоаномалий Паужетско-Камбально-Кошелёвского района на основе магнитометрической съёмки**

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

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия  
van.one.df@mail.ru*

На основании многолетних исследований построены карты аномалий магнитного поля  $\Delta T_a$  для крупных геотермальных систем Паужетско-Камбально-Кошелёвского района Южной Камчатки. Магнитные поля имеют как общие характеристики, так и индивидуальные особенности для каждого объекта исследований. На площади Нижне-Кошелёвского пародоминирующего геотермального месторождения выделена система линейных отрицательных аномалий магнитного поля, приуроченная к радиальным в структуре Кошелёвского вулканического массива термоконтролирующим разрывным тектоническим нарушениям. Паужетское геотермальное месторождение характеризуется неоднородным строением аномального магнитного поля  $\Delta T_a$ : СЗ область отмечается спокойным слабо отрицательным магнитным полем, свидетельствующим о преобладании в этой части месторождения латерального растекания гидротерм из верхнего водоносного горизонта; ЮВ – большим количеством знакопеременных магнитных аномалий высокой интенсивности, приуроченных к субвулканическим телам кислого-среднего состава. Южно-Камбальная группа термальных полей характеризуется пониженным модулем магнитной индукции  $T$  по сравнению с Паужетским и Нижне-Кошелёвским геотермальными месторождениями, что свидетельствует о более интенсивном изменении горных пород Камбального хребта. Отмечен необычный характер взаимосвязи аномалий магнитного поля и термальных полей, что объясняется проявлением интенсивных гидротермально-метасоматических, экзогенных процессов, а также тектонической раздробленностью пород верхних горизонтов земной коры в этом районе и тектонической раздробленностью пород верхних горизонтов земной коры.

**Ключевые слова:** магнитометрия, аномалии, геотермальные системы, зоны разгрузки парогидротерм

### **New Data on the Structure of Thermoanomalies of the Pauzhetsko-Kambalny-Koshelevsky Area on the Basis of Magnetometric Survey**

**Ivan A. Nuzhdaev, Sergey O. Feofilaktov, Yuri Yu. Bukatov**

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

Based on many years of research, maps of magnetic field anomalies  $\Delta T_a$  were constructed for large geothermal systems of the Pauzhetsko-Kambal-Koshelevsky region of South Kamchatka. Magnetic fields have both general characteristics and individual features for each study site. In the area of the Nizhne-Koshelevskoye steam-dominated geothermal field, a system of linear negative magnetic field anomalies is identified, which are confined to radial thermocontrolling discontinuous tectonic disturbances in the structure of the Koshelevsky volcanic massif. The Pauzhetskoe geothermal field is characterized by a heterogeneous structure of the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$ : the NW area is marked by a quiet weakly negative magnetic field, indicating the prevalence of lateral spreading of hydrotherms from the upper aquifer in this part of the field; the SE – by a large number of alternating magnetic anomalies of high intensity, confined to subvolcanic bodies of acidic-medium composition. South-Kambal group of thermal fields is characterized by a reduced magnetic induction modulus  $T$  compared to Pauzhetskoye and Nizhne-Koshelevskoye geothermal fields, which indicates a more intense alteration of rocks of the Kambal ridge. An unusual character of the relationship between the magnetic field anomalies and thermal fields was noted, which is explained by the manifestation of intensive hydrothermal-metasomatic, exogenous processes, as well as tectonic fragmentation of rocks of the upper crustal horizons in this area.

**Keywords:** magnetometry, anomalies, geothermal systems, vapor-hydrothermal unloading zones

## **Введение**

Южная оконечность полуострова Камчатка характеризуется интенсивной и разнообразной геотермальной деятельностью, основная часть которой сосредоточена в Паужетско-Камбально-Кошелевском районе. Для Паужетской геотермальной месторождения определены строение и структурные особенности основных термальных разгрузок: Восточно- и Верхне- Паужетского термальных полей (т/п) (Феофилактов и др., 2017; 2020). На глубине от 4 до 8 км выделен горизонт разуплотненных пород, который может служить источником теплового питания Паужетской гидротермальной системы (Феофилактов и др., 2021). На глубине от 4 до 8 км выделен Паужетской гидротермальной системы (Феофилактов и др., 2021). Для Нижне-Кошелевского месторождения выделена изометричная в плане и распространяющаяся на глубину 250–300 м низкоскоростная область насыщенная паро-газовой смесью, а также субвертикальный канал повышенной трещинно-поровой проницаемости, погружающийся на глубину более 5 км (Рычагов и др., 2018). На Камбальном вулканическом хребте гидротермальная деятельность сосредоточена в его осевой зоне. На высотах от 700 до 1000 м, протягивается почти 10-километровая полоса с большим числом рассредоточенных выходов паровых струй. Термопроявления объединяются в 3 группы термальных полей: Северо-, Центрально- и Южно-Камбальные. Наиболее интересной для исследований и мощной по выносу тепла является Южно-Камбальная группа т/п.

## **Методика исследований**

Магнитная съемка на объектах исследования выполнялась двумя современными магнитометрами GSM-19W на эффекте Оверхаузера фирмы GEM (производитель Канада). Один использовался для рядовых измерений магнитного поля, второй как вариационная станция для отслеживания суточных колебаний.

На Нижне-Кошелевском месторождении выполнено 15500 рядовых замеров магнитного поля на территории 13 км<sup>2</sup>, среднеквадратическая погрешность съемки составила  $\pm 19$  нТл, более подробно о методике (Нуждаев и др., 2023). Современная площадная магнитная съемка на Паужетском месторождении выполнялась на площади 11 км<sup>2</sup> в марте 2014 года. Контрольные измерения сделаны в объеме 9% от общего количества точек – 10784, среднеквадратическая погрешность съемки составила  $\pm 18$  нТл. Магнитная съемка в районе южной группы т/п Камбального вулканического хребта выполнялась в два летних полевых сезона: 2017 г. – на площади Южно-Камбального Центрального (ЮКЦ) термального поля (шаг измерений 5 м, расстояние между профилями 25 м), 2018 г. – на площади Ближнего (ЮКБ) и Дальнего (ЮКД) термальных полей (5×100–150 м). Съемку можно отнести к рекогносцировочным работам с целью составления карты магнитных аномалий  $\Delta T_a$  южной группы т/п Камбального хребта. Всего выполнено 14500 рядовых замеров на территории 2.5 км<sup>2</sup>, среднеквадратическая погрешность съемки составила  $\pm 6$  нТл.

## **Результаты магнитометрических работ**

Для Нижне-Кошелевского месторождения построена карта аномалий магнитного поля  $\Delta T_a$  (Рис. 1а). Карта характеризуется контрастными значениями  $\Delta T_a$ , от –2400 до 2200 нТл. В центральной части площади выделяются отрицательные аномалии: имеющие относительно изометричную форму и размеры в поперечнике  $\geq 300$ –500 м, а также линейные, вытянутые до 1–3 км. Все отрицательные аномалии практически объединены в единое неоднородное поле на фоне положительных значений  $\Delta T_a$ . Участок, на котором расположено Нижне-Кошелевское геотермальное месторождение, характеризуется развитием пород лаво-экструзивного комплекса кислого-среднего и среднего-основного состава. Современные геотермальные проявления и поля аргиллизированных пород четвертичного возраста (структура руч. Аргиллизитовый) приурочены к более кислым породам. Отчетливо выделяются линейные разрывные тектонические нарушения – радиального направления по отношению к общей структуре Кошелевского вулканического массива, а также зона

регионального разлома. Термальные источники и современные сольфатарные поля контролируются зонами разрывных тектонических нарушений и участками их пересечений.

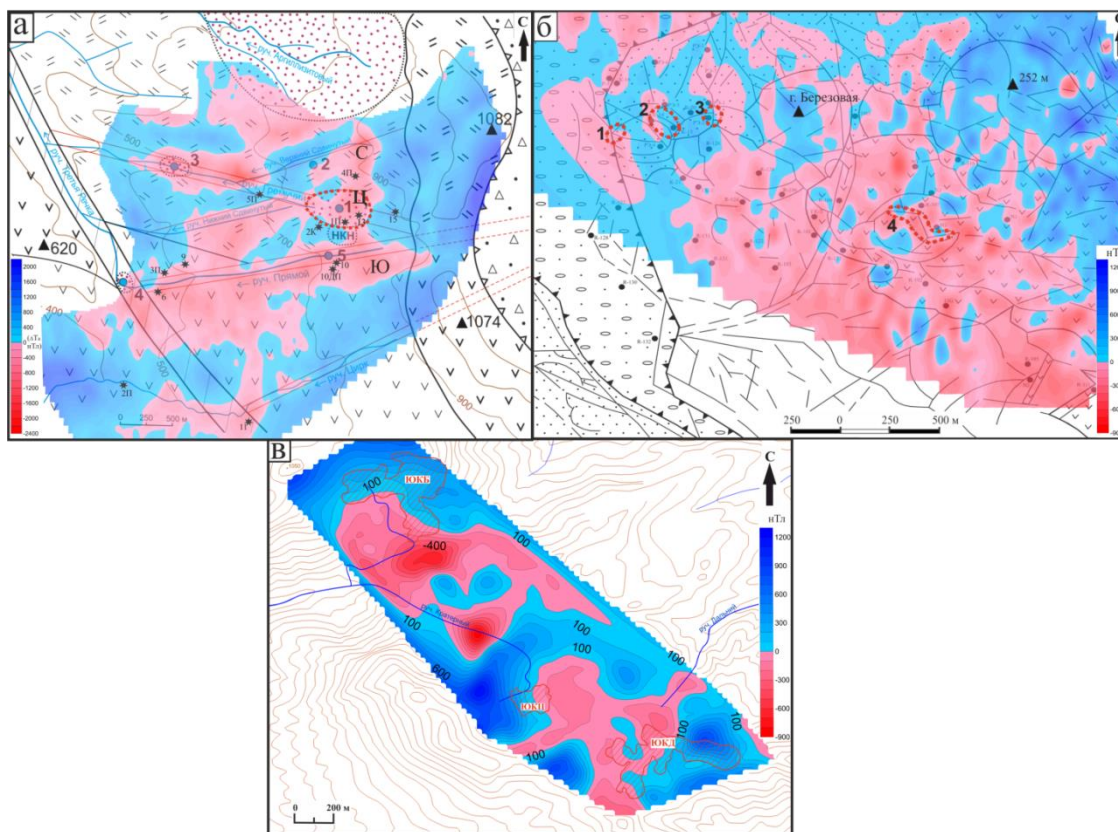


Рисунок 1 – Карты аномалий магнитного поля  $\Delta T_a$  для основных геотермальных систем Паужетско-Камбально-Кошелевского района Южной Камчатки. а – Нижне-Кошелевское месторождение (Цифрами указаны основные разгрузки термальных вод: 1 – Нижне-Кошелевские, 2 – Ближние, 3 – Солнечные, 4 – Промежуточные, 5 – на руч. Прямой; и разведочные скважины; высоты в метрах; буквами отмечены отрицательные аномалии магнитного поля С-северная; Ц – центральная; Ю – южная); б – Паужетское месторождение (Цифрами отмечены термальные поля: 1 – Южно-Паужетское, 2 – Верхне-Паужетское, 3 – Нижне-Паужетское, 4 – Восточно-Паужетское); в – Южно-Камбальная группа т/п (ЮКБ- Южно-Камбальное Ближнее; ЮКЦ – Южно-Камбальное Центральное; ЮКД – Южно-Камбальное Дальнее)

На карте аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  для Паужетского месторождения (Рис. 1б) наблюдается совершенно другая структура поля, чем на Нижне-Кошелевском месторождении. В целом, выделяются две крупные области: северо-западная и юго-восточная. Северо-западная (СЗ) область характеризуется спокойным слабо отрицательным магнитным полем с интенсивностью аномалий от  $-400$  до  $400$  нТл. Юго-восточная (ЮВ) отличается широким интервалом значений  $\Delta T_a$ : от  $-900$  до  $1100$  нТл и дробным характером аномальных участков – выделяется множество мелких изометричных в плане отрицательных аномалий. СЗ и ЮВ области четко разделяются друг от друга полосой, включающей серию мелких отрицательных аномалий высокой интенсивности магнитного поля. СЗ и ЮВ области отличаются геологическим строением территории. СЗ расположена в поле развития вулканогенно-осадочных пород паужетской свиты и лав дацитового состава, и распространяется на структуру Паужетского грабена. Здесь выделяются отдельные крупные экзтрузии дацитов (г. Березовая) и предполагается наличие на некоторой глубине субвулканических тел среднего-основного состава (Структура ..., 1993; Феофилактов и др., 2020). ЮВ область перекрывает, в основном, андезиты и андезибазальты Камбального хребта (породы заключительного магматического этапа формирования этой структуры). По данным бурения разведочных скважин (R-102, R-107 и др.) на этом участке месторождения на небольшой глубине (десятки и первые сотни метров) залегают субпластовые и субвертикальные тела дацитов, риолитов и андезибазальтов.

Для Южно-Камбальной группы термальных полей, также построена детальная карта распределения аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  (Рис. 1в). Среднее значение наблюдаемого магнитного поля 50300 нТл. Диапазон изменения  $\Delta T_a$  от  $-900$  до  $1300$  нТл. В целом, термальные поля характеризуются пониженным модулем магнитной индукции  $T$  по сравнению с Паужетским и Нижне-Кошелевским геотермальными месторождениями (Нуждаев и др., 2023). Это свидетельствует о более интенсивном изменении горных пород Камбального хребта гидротермально-метасоматическими процессами, по-видимому, в результате длительного воздействия конвективного теплового потока. Также выявлен необычный характер взаимосвязи аномалий магнитного и температурного полей: ЮКД расположено в знакопеременной зоне магнитного поля, ЮКЦ – на границе между отрицательной и положительной аномалиями, ЮКБ – в пределах относительно невысоких значений  $\Delta T_a$ . Таким образом, горячие участки и основные разгрузки термальных вод приурочены к средним значениям  $\Delta T_a$ , в то время, как наиболее типичным является прямая связь температурного поля с отрицательными аномалиями  $\Delta T_a$  вследствие аргиллизации пород и разрушения ферромагнитных минералов (Феофилактов и др., 2017, 2020). В то же время, термальные поля ЮКЦ и ЮКД пространственно тяготеют к крупной отрицательной магнитной аномалии  $\Delta T_a$ , что может свидетельствовать о их приуроченности к одной геологической структуре, проницаемой для гидротермального флюида.

Учитывая все полученные геофизические данные, а также априорную геологическую информацию проведено двумерное моделирование магнитных данных в программном обеспечении GravMagInv2D (ООО ЛОЛГЕО, Россия). Выделены структурные неоднородности геологического разреза, контролирующие разгрузку гидротерм, а также область накопления гидротермальных растворов в центральной части поля. Повышенные значения намагниченности относятся к экструзивному комплексу «Цветные Скалы», подтверждается региональный характер аномалии в этой области. ЮКБ характеризуется значениями намагниченности от 0 до 1 А/м, что объясняется приуроченностью термального поля к наиболее прогретым апикальным частям экструзии. Такие же значения характерны и для ЮКЦ: намагниченные породы по результатам моделирования распространяются на глубину до 500 м. Для района ЮКД каких-либо особенностей в распределении значений намагниченности не выявлено, вероятно, аномалии на этом участке носят поверхностный характер.

*Работа выполнена при поддержке РНФ по проекту 22-27-00019*

### **Список литературы**

1. *Нуждаев И.А.* Особенности магнитного поля геотермальных систем Паужетского района (Южная Камчатка) / *И.А. Нуждаев, С.Н. Рычагов, С.О. Феофилактов, Д.К. Денисов* // Вулканология и сейсмология. 2023. № 2. С. 33–51.
2. *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* // Доклады АН. 2018. Т. 482, № 2. С. 183–187.
3. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
4. *Феофилактов С.О.* Глубинное строение района Паужетской гидротермальной системы (Южная Камчатка) / *С.О. Феофилактов, С.Н. Рычагов, В.А. Логинов и др.* // Вулканология и сейсмология. 2021. № 1. С. 40–56.
5. *Феофилактов С.О.* Новые данные о строении зоны разгрузки гидротерм в районе Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) / *С.О. Феофилактов, С.Н. Рычагов, Ю.Ю. Букатов и др.* // Вулканология и сейсмология. 2017. № 5. С. 36–50.
6. *Феофилактов С.О.* Строение зоны разгрузки парогидротерм в районе Верхне-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) / *С.О. Феофилактов, С.Н. Рычагов, Ю.Ю. Букатов и др.* // Геология и геофизика. 2020. Т. 61, № 9. С. 1194–1214.