

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ
И СЕЙСМОЛОГИИ**

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВиС ДВО РАН)

683006, г. Петропавловск-Камчатский,
бульвар Пийпа, 9

Тел. (4152) 297717, факс: (4152) 297982

E-mail: volcan@kscnet.ru,

ОКПО 71811529, КПП 410101001,

ИНН 4101095937

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института вулканологии и
сейсмологии Дальневосточного
отделения Российской академии
наук



к.т.н. Е.Г. Калачева

07.04.2022 № 16.163-161

На № _____ от _____

«07» 04 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вулканологии и сейсмологии
Дальневосточного отделения Российской академии наук

Диссертация «БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ПАУЖЕТСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА): НОВАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Феофилактов Сергей Олегович работал в лаборатории геотермии ФГБУН Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН с 2007 г. в должности стажера-исследователя, техника, старшего лаборанта, старшего инженера, младшего научного сотрудника и научного сотрудника.

Феофилактов С.О. в 2011 году окончил Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга по специальности «Геофизика». В 2017 году окончил аспирантуру по направлению подготовки «05.06.01 – Науки о Земле» в Камчатском государственном университете им. Витуса Беринга.

Научный руководитель – Рычагов Сергей Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геотермии, главный научный сотрудник ФГБУН Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Актуальность

Изучению геологического строения Паужетской гидротермальной системы посвящено много работ [Паужетские ..., 1965; Аверьев, 1966; Белоусов, 1978; Долгоживущий ..., 1980; Структура ..., 1993; и др.]. В результате этих исследований восстановлена общая стратиграфия района и эволюция вулканизма и интрузивного магматизма, показано положение системы в региональной геологической структуре Южной Камчатки – приуроченность ее к центральной части крупной Паужетской вулcano-тектонической депрессии и к западному склону резургентного тектоно-магматического поднятия вулканического хребта Камбальный. В структуре гидротермальной системы выделены основные комплексы пород и приуроченные к ним водоносные горизонты: нижний высокотемпературный, связанный с агломератовыми туфами алнейской серии; верхний низкотемпературный, локализованный в туфах ниже- и среднепаужетской подсвет. Также показано положение в разрезе и распространение по площади пород, играющих роль водоупоров в структуре системы: вулканомиктовых песчаников анавгайской серии (основание разреза), голыгинских игнимбритов (верхний водоупор для высокотемпературных гидротерм и нижний – для низкотемпературного потока термальных вод), мелкообломочных туффитов и туфов верхнепаужетской подсветы. Последние породы широко распространены на площади системы и Паужетского района, и служат верхним водоупором и тепловым экраном вследствие своих особых петрофизических свойств и аргиллизации пород, усиливающих эти свойства. В целом, на основании геологических исследований в 1960-80-х годах показано общее геологическое строение Паужетской гидротермальной системы, ее локализация в одноименной вулcano-тектонической депрессии и приуроченность к западному склону вулканического хребта Камбальный.

На основании геологических, геофизических и гидрогеологических данных, полученных на первом этапе исследования Паужетского геотермального месторождения, разработана модель теплового питания и разгрузки термальных вод [Паужетские ..., 1965; Аверьев, 1966]. Согласно этой модели, источником тепла являются близповерхностные магматические очаги вулканического хребта Камбальный, термальные воды по двум водоносным горизонтам стекают с тектоно-магматического поднятия хребта Камбальный и разгружаются в пределах центральной части Паужетской депрессии, образуя одноименную гидротермальную систему, возраст которой оценивается примерно в 10 тыс. лет [Набоко, 1980]. Таким образом, считается, что источник тепла для Паужетской гидротермальной

системы является наведенным, т.е. он находится за пределами ее геологической структуры [Аверьев, 1966; Паужетские ..., 1965; Сугробов, 1979].

Эта гипотеза уже вначале 1980-х гг. подвергалась сомнению на основании моделирования, выполненного В.А. Воронковым, который предполагал возможность теплового питания Паужетской системы со стороны Кошелевского вулканического массива [Воронков, 1983; Воронков, 1985]. С использованием накопленных к этому времени геолого-геофизических и гидрогеологических данных предложена модель, названная В.А. Воронковым геолого-физической [Воронков ..., 1985].

В результате более детального изучения строения системы с помощью бурения дополнительных скважин в 1970-80-х годах и уточнения геологического разреза появились достаточные основания для серьезной критики предложенных ранее моделей. Установлено наличие в структуре гидротермальной системы приподнятых тектоно-магматических блоков, внутри и по границам которых происходит подъем гидротерм к дневной поверхности и интенсивное смешение поверхностных вод с глубинными [Структура ..., 1993]. Ранее считалось, что разгрузка термальных вод на термальных полях и переток гидротерм из нижнего водоносного горизонта в верхний происходит по отдельным субвертикальным линейным тектоническим нарушениям [Белоусов и др., 1976]. Н.С. Жатнуев с коллегами показал, что внутри и по границам приподнятых тектоно-магматических блоков длительное время развивались мощные зоны кипения минерализованных растворов, как результат смешения восходящих высокотемпературных гидротерм с инфильтрационными водами. Это, возможно, указывает на наличие локальных источников тепла в структуре этих блоков [Жатнуев и др., 1996]. По геохимическим данным глубинные воды, циркулирующие в приподнятых тектоно-магматических блоках, обогащены легким изотопом стронция, а также содержат повышенные концентрации Au, Ag, Hg, редких щелочных и редкоземельных элементов [Сандиминова, 1993]. Данное обстоятельство также свидетельствует в пользу наличия магматических источников тепла и зон деформаций, залегающих на глубине непосредственно в структуре гидротермальной системы. Не менее серьезным аргументом в пользу пересмотра начальной (и господствующей до настоящего времени) гипотезы об источнике тепла в недрах Паужетской гидротермальной системы является наличие гидротермально-метасоматической зональности (от вторичных кварцитов и пропилитов различных фаций к аргиллизитам), отражающей длительное (миллионы или сотни тысяч лет) и последовательное развитие гидротермальной системы, т.е. ее палеоэтап [Коробов и др., 1993; Коробов, 1994]. Такое развитие было возможно только при наличии крупных магматических очагов и остывающих интрузий в пределах центральной части Паужетской

вулкано-тектонической депрессии и, следовательно, в структуре самой гидротермальной системы.

Были попытки построить геолого-геофизическую модель Паужетского геотермального месторождения и на основании собственно геофизических исследований. Так, с помощью аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 и площадных магнитометрических и электроразведочных работ масштаба 1: 10 000 выявлены отрицательные аномалии ΔZ линейного простирания, интерпретируемые как тектонические нарушения, по которым циркулируют минерализованные термальные воды [Зайцев, 1970]. Такие разломные зоны оконтуривают наиболее крупные для Паужетской гидротермальной системы тектонические блоки пород. Изометричные аномалии ΔZ тяготеют к зонам разгрузки термальных вод в пределах известных термальных полей: Восточно-, Верхне-, Южно- и Нижне-Паужетских, а также существовавших до начала бурения скважин «теплых почв» в долине р. Паужетка. Некоторые изометричные аномалии трудно объяснить из-за недостатка геологических данных, что, в свою очередь, является следствием неравномерного бурения скважин. Вероятно, эти аномалии могут фиксировать области скрытой разгрузки парогидротерм или зоны кипения растворов на некоторой (различной) глубине, а также зоны сульфидизации и окварцевания пород. Все это говорит о сложном строении Паужетской гидротермальной системы, относительно надежная информация о структуре которой имеется только на участках геотермального месторождения, т.е. разбуренных большим количеством скважин.

Отмеченное послужило основанием для создания новой геолого-геофизической модели Паужетского геотермального месторождения и одноименной гидротермальной системы с помощью проведения детальных комплексных геофизических исследований с использованием современной высокоточной аппаратуры, соответствующих расчетных методик и компьютерных программ.

Научная новизна работы

Проведенные ранее геолого-геофизические и гидрогеологические исследования на Паужетском геотермальном месторождении не позволили решить многие принципиальные вопросы: об источниках тепла и глубинных растворов, о структуре подводящих каналов для парогидротерм, строении зон смешения термальных и метеорных вод и зон кипения растворов, геологической природе зон разгрузки термальных вод. Сформулированная в 1960-70-ых гг. модель теплового питания Паужетской гидротермальной системы и месторождения за счет поступления термальных вод по двум пологопадающим горизонтам со стороны Камбального вулканического хребта [Аверьев, 1961, 1966; Белоусов, 1976; Сугробов, 1991; и др.] может быть существенно дополнена. На это указывают опыт эксплуатации

месторождения и получение новых данных о строении центральной части гидротермальной системы [Структура ..., 1993; Рычагов, 2003].

На основании оригинальных данных, представленных в диссертации, и использования комплекса современного геофизического оборудования и соответствующих методик получены следующие новые научные результаты:

- 1) определены строение и физические характеристики зон разгрузки парогидротерм;
- 2) выделена система блоков, контролирующая разгрузку теплового потока в структуре Паужетского геотермального месторождения;
- 3) определен глубинный источник тепла для Паужетской гидротермальной системы;
- 4) решен ряд фундаментальных научных и практических вопросов, имеющих принципиальное значение не только для Паужетской гидротермальной системы, но и других гидротермальных систем Южной Камчатки.

Личный вклад

Будучи постоянным начальником структурно-геофизического отряда Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН, диссертант активно участвовал в постановке научной проблемы комплексных исследований на территории Паужетской гидротермальной системы, в организации и проведении ежегодных полевых работ, систематизации данных и построении геолого-геофизических моделей. Автором выполнены следующие работы:

- 1) сбор и обобщение литературных данных и фондовых материалов по изучению структуры современных гидротермальных систем и геотермальных месторождений Паужетского (Паужетско-Камбально-Кошелевского) района Южной Камчатки. Систематизация геолого-структурных, геофизических, гидрогеологических и др. данных по современным гидротермальным системам мира – с целью характеристики Паужетской гидротермальной системы в сравнение с близкими по строению вододоминирующими гидротермальными системами других регионов;
- 2) проведение и интерпретация электроразведочных работ методами ВЭЗ и ЕП на всех этапах работы, а также участие в полевых измерениях и обработке материалов всех представленных геофизических методов (электроразведка, магниторазведка, гравиразведка, терморазведка, микросейсмическое зондирование);
- 3) комплексная интерпретация данных: расчет и построение предварительных моделей по каждому направлению исследований;
- 4) обсуждение результатов и создание геолого-геофизических моделей зон разгрузки парогидротерм Паужетского геотермального месторождения и одноименной гидротермальной системы.

Практическое применение

Совокупность полученной информации о термопроводящих структурах месторождения может помочь ответить на центральный вопрос в обсуждаемой проблеме – о природе и местоположении источника тепла для Паужетской гидротермальной системы. Решение этого вопроса имеет большое практическое значение в связи с остыванием теплоносителя на эксплуатируемых участках - эта тенденция была отмечена еще в работе [Структура ..., 1993]. Так, в настоящее время прекращена эксплуатация первого на месторождении (Северного) участка, отбор тепла для Паужетской ГеоЭС происходит только на одном, введенном в эксплуатацию в 1980-х гг., Южном участке. По заключениям специалистов ОАО «Камчатскбургеотермия» (устное сообщение главного геолога Л.А. Ворожейкиной) назрела настоятельная необходимость бурения новых скважин на месторождении с целью поиска гидрогеологических структур, контролирующих высокотемпературный теплоноситель. Выбор точек заложения продуктивных скважин невозможен без проведения комплекса современных геофизических исследований на площади гидротермальной системы и уточнения ее геологического строения. Предложенная модель строения Паужетской гидротермальной системы будет востребована в практике поисково-разведочных работ и при эксплуатации Паужетского и других геотермальных месторождений Южной Камчатки.

Степень достоверности

Достоверность представленных данных, используемых в диссертационной работе, обеспечивается использованием современной аппаратуры для проведения геофизических исследований и стандартных методик (программного обеспечения) расчетов физических параметров. Обоснованность и достоверность научных выводов, содержащихся в работе, подтверждаются согласованностью как полученных результатов геофизических исследований между собой, так и полученных моделей с имеющейся детальной геолого-геофизической информацией по рассматриваемому району.

Полнота изложенного материала.

Основные результаты диссертационной работы были представлены в виде устных докладов на 10 российских и 2 международных научных конференциях: научных конференциях, посвященных Дню вулканолога (г. Петропавловск-Камчатский, 2016, 2017, 2019); Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2017); Всероссийской Сибирской научно-практической конференции молодых

ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов) (г. Новосибирск, 2014, 2018); Девятых научных чтениях памяти Ю.П. Булашевича (г. Екатеринбург, 2017); Региональных молодежных научных конференциях «Природная среда Камчатки» (г. Петропавловск-Камчатский, 2011, 2014); Международных геотермальных конгрессах World Geothermal Congress (Мельбурн, 2015; Рейкьявик, 2021)

По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 3 статьи в журналах «Геология и геофизика» и «Вулканология и сейсмология», входящих в список изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Соответствие научной специальности.

В работе рассматриваются комплексные геофизические исследования Паужетского геотермального месторождения и одноименной гидротермальной системы. Тематика работы соответствует специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Постановили: По итогам представления работы на заседании Ученого совета ФГБУН ИВиС ДВО РАН (протокол № 4 от 10 марта 2022 г.) было принято решение рекомендовать к защите диссертационную работу Феофилактова С.О. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». Присутствовали на заседании 15 чел. Результаты голосования – единогласно «ЗА».



Самкова Татьяна Юрьевна,
к.б.н., ученый секретарь ИВиС ДВО РАН,



Кожурин Андрей Иванович,
д.г.-м.н., главный научный сотрудник
лаборатории активной тектоники и
палеосейсмологии



Рашидов Владимир Александрович,
к.т.н., старший научный сотрудник
лаборатории петрологии и геохимии