

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Феофилактова Сергея Олеговича «Блоковая структура Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка): новая геолого-геофизическая модель», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа Феофилактова Сергея Олеговича посвящена актуальной теме изучения блоковой структуры Паужетского геотермального месторождения на основе новых геолого-геофизических данных.

Актуальность темы заключается в отсутствии обоснованной с использованием современных данных модели Паужетской гидротермальной системы. Решение этого вопроса имеет большое практическое значение в связи с остыванием теплоносителя на эксплуатируемых участках Паужетской ГеоЭС. Автор решил восполнить данный недостаток, постаравшись ответить на центральный вопрос в обсуждаемой проблеме – о природе и местоположении источника тепла для Паужетской гидротермальной системы.

Целью своих исследований С.О. Феофилактков обозначил выделение геологических структур, контролирующих перенос тепла в районе Паужетской гидротермальной системы, создание геолого-геофизической модели зон разгрузки парогидротерм в пределах Паужетского геотермального месторождения и гидротермальной системы, что представляет собой решение значительной и актуальной задачи.

Диссертант поставил перед собой три задачи:

1. Получение новых фактических данных о геологическом строении Паужетской гидротермальной системы и одноименного геотермального месторождения с использованием комплекса современных геофизических методов и учетом имеющихся материалов бурения скважин, геологических съемок и тематических научных работ.

2. На основе проведения геофизических исследований на площади Паужетского геотермального месторождения выделение следующих геолого-гидрогеологических структур: системы блоков, контролирующей водное и тепловое питание месторождения; зон кипения перегретого флюида и локальных зон приповерхностного кипения растворов; участков распространения гидротермально измененных пород.

3. Создание геолого-геофизической модели (моделей) зон питания и циркуляции гидротерм в пределах Паужетского геотермального месторождения и гидротермальной системы.

Структура диссертационной работы состоит из пяти глав, введения, заключения и списка литературы (200 наименований) – содержит 161 страницу текста, включая 65 рисунков, 1 таблицу. Необходимо отметить, что объем кандидатской диссертации несколько превышен – 161 стр. Однако это вызвано попыткой автора детально описать модели гидротермальных месторождений, что не выглядит излишним.

**Первая глава** посвящена современному состоянию исследований геотермальных районов, систем и месторождений геолого-геофизическими методами. Приведены модели строения крупнейших геотермальных систем и месторождений мира, а также рассмотрена роль современных геофизических методов исследований.

Рассмотрены характеристики основных геотермальных систем и месторождений Камчатки. Подробно описано Мутновское месторождение, приуроченное к пересечению региональных глубинных разломов субмеридионального и широтного простирания и мощных зон разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простираний. Также дана характеристика Паратунской гидротермальной системы. Данная система



относится к системам глубокого заложения или «погребенной». В гидрогеологической структуре такого типа возможно скопление громадных запасов подземных вод. Также рассмотрены Большебанная и Карымчинская, Паужетская и Кошелевская гидротермальные системы. Изложена существующая модель Паужетского геотермального месторождения.

Рассмотрена роль современных геофизических методов в исследовании геотермальных районов, систем и месторождений мира. Проанализированы как сильные, так и слабые стороны геофизических методов. Автором отмечена эффективность грави-, электро- и магниторазведочных исследований, а также сейсмической томографии. Главенствующую роль автор отводит комплексированию результатов геолого-геофизических исследований: проведение комплексных геофизических работ и интерпретация данных на основе обобщения материалов детальных геолого-гидрогеологических и минералого-геохимических исследований. Именно такой методологии Автор придерживался в своей научной работе.

В заключении к первой главе автор приводит ряд выводов.

Необходимо отметить глубокую проработку вопроса диссертантом: рассмотрены геотермальные районы США, Италии, Японии, Индонезии, а также Дальнего Востока России. Приведены графические и аналитические модели рассмотренных месторождений, в том числе физико-геологические модели.

Глава хорошо проиллюстрирована и даёт достаточно полные представления о предметной области.

Во второй главе рассмотрен Паужетский геотермальный район, одноименные гидротермальная система и геотермальное месторождение. Приведена история изучения Паужетского месторождения, дана детальная геологическая характеристика Паужетского геотермального района, гидротермальной системы и одноименного месторождения. Рассмотрены термальные поля Паужетского геотермального месторождения: Верхне-Паужетское, Нижне-Паужетское, Южно-Паужетское, Восточно-Паужетское. Приведены показательные обзорные фотографии термальных полей.

Также в главе приведена изученность Паужетского месторождения методами геофизики. В конце прошлого века проведены магниторазведочные и электроразведочные (ВЭЗ) исследования, а также геотермическая съемка. Пробурено более 50 скважин.

Значительное внимание уделено петрофизическим свойствам горных пород. Были изучены параметры плотности и магнитной восприимчивости пород, остаточной намагниченности. Сделан вывод, что наиболее интенсивно преобразования пород сказываются на величине магнитной восприимчивости, которая снижается на порядок. По результатам каротажных исследований определены параметры кажущегося сопротивления и естественной радиоактивности пород.

В заключении ко второй главе автор приводит ряд выводов. В частности, что рассматриваемый район представлен контрастными по петрофизическим свойствам породами, что хорошо прослеживается в геофизических полях. Этот факт является благоприятным при интерпретации получаемых карт распределения геофизических аномалий и играет очень важную роль в представленной работе.

Третья глава посвящена аппаратуре и методике геофизических исследований.

В современное время на протяжении нескольких полевых сезонов выполнены: электроразведочные работы методами ВЭЗ, ЕП, АМТЗ и МТЗ; площадные и профильные магнитометрические и гравиметрические исследования; профильные микросейсмические исследования; температурная съемка грунтов термопроявлений месторождения.

В главе приведена методика вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Разнос питающей линии не превышал, как правило, 1000 м, однако выполнены



зондирования с разносом питающей линии до 3000 м. Соответственно, эффективная глубина исследований не превышала 500 м, в большинстве случаев – 150 м. На Восточно-Паужетском термальном поле максимальный разнос питающей линии (АВ) в центральной части составил 100 м, в крайних пунктах измерения – 40 м. Здесь глубинность исследований еще меньше.

Электромагнитные исследования выполнены методами аудио-магнитотеллурического (АМТЗ) и магнитотеллурического зондирования (МТЗ). Длина измерительных линий для АМТЗ составила 50 м, для МТЗ – 90 м. Азимуты приемных линий выбраны  $0^\circ$  и  $90^\circ$ .

Измерения методом естественного электрического поля (ЕП) выполнены по способу потенциала.

Магнитометрическая съемка выполнена двумя современными магнитометрами GEM GSM-19W (GEM Systems, Канада). Один прибор использовался для проведения рядовых измерений на площади, а другой в качестве магнитовариационной станции.

Гравиметрическая съемка проведена автоматическим микропроцессорным гравиметром CG-5 Autograv (Scintrex, Канада). Геодезическое обеспечение осуществлялось GPS станциями Trimble или Leica GR 10 с антеннами Topcon или AR 10.

Выполнено микросейсмическое зондирование. Методика проведения полевых измерений сводится к накоплению спектра мощности микросейсмического сигнала в течение некоторого времени последовательно от точки к точке вдоль профиля несколькими переносными датчиками. Одновременно регистрируется микросейсмический сигнал на опорной точке в пределах исследуемого полигона для устранения эффекта нестационарности зондирующего микросейсмического сигнала.

Измерения температуры грунтов проведены на участках активных термопроявлений Паужетского геотермального месторождения. Измерения проводились комплектом заводских термомпар, принцип действия которых основан на термоэлектрическом эффекте. Измерения температуры грунтов проведены на глубине 80 см.

В целом, геофизические исследования выполнены с соблюдением инструктивных требований. Заявленные погрешности измерений позволяют решать поставленные геологические задачи.

В четвертой главе приводится фактический материал и его интерпретация. Первый раздел посвящен Восточно-Паужетскому термальному полю (фланг геотермального месторождения). По результатам температурной съемки оконтурены границы Центрального участка Восточно-Паужетского термального поля. По результатам электроразведочных работ построены наблюдаемые кривые ВЭЗ, псевдоэлектрический разрез и геоэлектрический разрез Восточно-Паужетского термального поля на глубину до 25 м. Дана характеристика геоэлектрического строения разреза. Дана интерпретация карте естественного электрического поля ( $\Delta U$ ), построенной для района Восточно-Паужетского термального поля. Также рассмотрены карта распределения значений аномального магнитного поля  $\Delta T_a$ , графики распределения потенциальных геофизических полей и модель структуры Восточно-Паужетского термального поля, построенная на основании геофизических и литологических данных. Дано истолкование выявленных аномалий.

Во втором разделе рассмотрено Паужетское геотермальное месторождение. Анализ геофизических и термометрических данных выполнен по аналогии с предыдущим разделом.

В третьем разделе приведена интерпретация геофизических данных для Паужетской гидротермальной системы.

В пятой главе приведены геолого-геофизические модели строения термальных полей, геотермального месторождения и гидротермальной системы. Модель основана на



анализе графиков аномального магнитного поля (в связи с максимальной представительностью этих данных), а по графикам гравитационного поля получены приближенные оценки распределения плотности пород. Использование комплекса геофизических методов, проходка шурфов и скважин колонкового бурения позволило получить данные о строении зоны разгрузки термальных вод в районе Восточно-Паужетского термального поля. На основании изложенного построена концептуальная модель структуры и условий образования зоны разгрузки парогидротерм в районе Восточно-Паужетского термального поля, сформулировано **первое защищаемое положение**.

На основании предложенной Автором концептуальной модели структуры района Верхне-Паужетского термального поля Паужетской гидротермальной системы сформулировано **второе защищаемое положение**.

На основании проведенных исследований и обобщения данных по петрофизическим свойствам пород района Автором выполнено грави-магнитное моделирование. Базируясь на построенной Автором концептуальной модели строения района Паужетской гидротермальной системы, сформулировано **третье защищаемое положение**.

В заключении к диссертационной работе автор наглядно и четко систематизировал результаты исследований, изложив их в выводах.

В ходе анализа материалов, представленных в диссертационной работе, у оппонента возник ряд вопросов и замечаний:

1. Не вполне понятно, на основе каких предпосылок выбиралась различная геометрия установки ВЭЗ на Восточно-Паужетском термальном поле и в центральной части Паужетского геотермального месторождения? Почему нельзя было применить одинаковую методику ВЭЗ?
2. По какой причине Автором не приведена единая схема с выносом точек наблюдений всех рассмотренных геофизических методов, термометрии и микросейсмике?
3. В работе приведены разрезы по электроразведке, магнито- и гравиразведке, микросейсмике. Почему они не совмещены для проведения комплексирования, а показаны только отдельно? Возможно, удобнее было бы анализировать и предлагать комплексную модель, проиллюстрированную на совмещенных разрезах с выносом соответствующих графиков параметров?
4. Почему при интерпретации геофизических данных ни на картах, ни на разрезах не приводятся разломы? Они не играют существенной роли в итоговых моделях гидротермальных месторождений?
5. В восточной части геоэлектрического разреза района Паужетской гидротермальной системы по данным ВЭЗ (рис. 4.13) мощность показанных в правой части разреза (скважина R111) пород превышает 700 м. С помощью какой геометрии установки ВЭЗ достигнуты столь значительные глубины? Если разнос установки АВ/2 не превышал 300 м, то как добились такой глубинности?
6. Выполнялись ли исследования ВП и, если нет, то почему? Ведь их легко можно было совместить с проведением ВЭЗ.
7. Указано, что кривые МТЗ были подвержены «р-эффекту», связанному с влиянием локальных геоэлектрических неоднородностей. Каким образом боролись с данным эффектом? Не рассматривал ли Автор целесообразность применения индукционных зондирований, свободных от влияния эффекта гальванических неоднородностей (например, малоглубинных ЗСБ), для



подсадки («shifting») кривых МТЗ на корректный уровень?

Вместе с тем, указанные замечания не имеют критического значения и не умаляют ценности и значимости рассмотренной диссертационной работы.

В ходе своих исследований С.О. Феофилактов получил важные научные результаты – предложил концептуальные физико-геологические модели строения и объяснил условия образования Восточно-Паужетского, Верхне-Паужетского термальных полей и Паужетской гидротермальной системы. Полученные модели могут быть использованы в последующих исследованиях как непосредственно обозначенных объектов, так и как аналоги гидротермальных систем при изучении таких объектов по всему миру.

В целом, текст диссертационной работы написан аккуратно, с соблюдением правил и норм русского языка. Хотелось бы отметить высокую квалификацию диссертанта, отличное знание предметной области.

В основу диссертационной работы положены результаты, полученные Автором, будучи начальником структурно-геофизического отряда Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН. Автором лично выполнен сбор и обобщение литературных данных и фондовых материалов по изучению структуры современных гидротермальных систем и геотермальных месторождений, систематизация геолого-структурных, геофизических, гидрогеологических и др. данных по современным гидротермальным системам мира, проведены полевые работы и интерпретация электроразведочных работ методами ВЭЗ и ЕП на всех этапах работы, а также выполнены комплексная интерпретация данных и создание геолого-геофизических моделей зон разгрузки парогидротерм Паужетского геотермального месторождения и одноименной гидротермальной системы. Таким образом, личный вклад С.О. Феофилактова в проведение исследований сомнений не вызывает.

В заключении оппонент считает необходимым отметить следующее:

Диссертационная работа С.О. Феофилактова является актуальной научной разработкой и по содержанию полностью соответствует шифру специальности. Научные положения и выводы обоснованы, подтверждены результатами полевых и аналитических исследований. **Научная новизна работы, как и ее актуальность, не вызывает сомнений. Оппонент отмечает высокую степень завершенности представленных исследований.**

Содержание диссертации полностью соответствует трем защищаемым положениям.

Результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, отражены в 18 публикациях, в том числе 3 из них – в изданиях из списка ВАК. Можно пожелать диссертанту продолжить публикацию результатов не только в отечественных, но и в зарубежных журналах. Работа прошла апробацию на семинарах, совещаниях и конференциях в период с 2011 по 2021 гг.

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

**Диссертационная работа Феофилактова Сергея Олеговича «Блоковая структура Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка): новая геолого-геофизическая модель» отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и соответствует заявленной специальности (25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.**



Буддо Игорь Владимирович

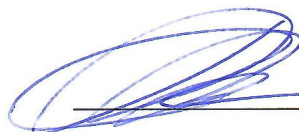
к.г.-м.н. по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Институт земной коры СО РАН, заведующий лабораторией комплексной геофизики.

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

biv@crust.irk.ru, 8 (3952) 427000,

«22» августа 2022 г.

 Буддо И.В.

Согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись \_\_\_\_\_ удостоверяю М.П. \_\_\_\_\_ Ф.И.О.

Подпись Буддо И.В.  
\_\_\_\_\_ заверяю  
Кадрово-правовой отдел Федерального государственного бюджетного учреждения Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук  
Сидорова Юлиана  
«24» 08 20 22 г.

