

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Павлова Кирилла Алексеевича  
**Исследование процессов теплопереноса**

**В породах Авачинской площади в естественном состоянии при перспективном  
получении геотермальной энергии**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная  
аэrogазодинамика и горная теплофизика

На отзыв представлен автореферат диссертации на бумажном  
носителе (1 экземпляр, 24 страницы, на правах рукописи).

**В общей характеристике работы** обоснованы актуальность работы и использованные методы исследований. Показана научная новизна работ и практическая значимость работ. Кратко рассмотрены достоверность и обоснованность научных положений и выводов. Из приведенной здесь же справочной информации, видно, что автор внёс значительный личный вклад в выполненные исследования по тематике диссертации. Впрочем, это ясно и при анализе публикационной активности автора – из 11 указанных диссидентом публикаций в списке опубликованных работ, 4 работы написаны лично им, 4 – в соавторстве с научным руководителем, и 3 – коллективом авторов при его участии.

Результаты работ, выполненных лично автором или при его участии, изложены в 9 статьях, которые опубликованы в периодических изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией РФ (ВАК). Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались на научных конференциях (в том числе всероссийских и международных), а также на заседаниях ученых советов научных организаций. Перечень их приводится в конце раздела. Перечислены цель, идея и задачи исследования. В разделе чётко и ясно сформулированы три основные защищаемые положения.

*Принципиальных замечаний к данному разделу нет.*

**Основное содержание работы** разбито на четыре главы.

**В первой главе** сформулированы цели и задачи исследования. В автореферате отмечено, что в этой главе приведен анализ результатов ранее выполненных натурных исследований теплового режима Авачинской геотермальной площади, выявлены основные характеристики системы как объекты освоения с целью использования её тепловых ресурсов. В любом научном исследовании, анализ состояния изученности проблемы выполняется для того, чтобы понять,

что уже было сделано ранее и автором, и другими исследователями, для постановки проблемы, её исследования, и какие вопросы еще не решены, какие задачи ставятся для её дальнейшего решения. К сожалению, из перечисленного неясно, какой анализ был выполнен, и каким выводам он пришёл. Для читателя остаются неясными ряд вопросов:

- каковы оценки тепловых ресурсов Авачинской геотермальной площади, полученные при предшествующих исследованиях.

- не приведены и характеристики этих ресурсов по существующим оценкам, хотя бы кратко.

- в исследованиях по оценке геотермальных ресурсов вулканических систем, важное значение имеют сведения о геолого-геофизических, гидрогеологических и петролого-geoхимических условиях в недрах геотермальных систем, о вулканической и фумарольной активности и т.д. Где они? В описании содержания первой главы этого нет.

*Принципиальных замечаний к данной главе нет, однако при чтении автореферата создается впечатление, что в нём не в полной мере изложены содержание главы и приведённые в ней данные. Возможно, в тексте самой диссертации это упущение было исправлено.*

Следует отметить, что **отсутствующие** в первой главе сведения о состоянии изученности территории, в полном объеме приведены во **второй главе**, в которой автор обосновал построенную им концептуальную модель Авачинской геотермальной площади. Полученные на основе такого концептуального моделирования количественные параметры магматического очага и вмещающих его горных пород являются основой для математического моделирования, результаты которого описаны в следующих главах.

Определённым недостатком концептуальной модели является то, что в ней не в полной мере отражены результаты геолого-геофизических исследований в восточном секторе Авачинско-Корякской группы вулканов (Радыгинская площадь).

Кроме того, при построении модели следовало бы рассмотреть некорректность решения обратных задач геофизики и обосновать единственность модели, что не было сделано. Впрочем, эти недоработки не отменяют сути сделанных выводов, которые дают необходимый и достаточный объем исходных и начальных данных, для разработки в следующей главе трехмерной численной термогидродинамической модели Авачинской геотермальной площади.

Описание разработанной диссидентом (совместно с научным руководителем) трехмерной термогидродинамической модели Авачинской геотермальной площади дано в **третьей главе**.

Из представленных в ней уравнений следует, что математическая модель теплопереноса в породах системы исходит из допущения о циркуляции флюидов пористой среде. Отсутствие каких-либо оговорок о типе проницаемости среды в ссылке на используемый для численной реализации модели, программный комплекс HYDROTHERM, позволяет полагать, что и в алгоритм расчетов заложена проницаемость среды порового типа, а не трещинная. Между тем, далее в тексте речь идёт о трещинных зонах. Непонятно, как авторы учили наличие двух типов проницаемости (трещинной и поровой). Если допустить, что в тексте самой диссертации эта проблема решена, то в третьей главе приведён достаточный и обоснованный объем данных, необходимых для расчета циркуляционных систем, необходимых для создания заявленной в диссертации цели - установления рациональных схем извлечения теплового потенциала Авачинской геотермальной площади.

**Четвертая глава** посвящена установлению рациональных технологических параметров и технико-экономической оценке эксплуатации перспективной геотермальной циркуляционной системы (ГЦС) при освоении тепловых ресурсов Авачинской площади. Принципиальных замечаний к технологии получения расчетных параметров нет. К сожалению, автор не рассмотрел, в какой мере реальные условия создания циркуляционных систем могут отличаться от расчетных.

Так, судя по модели, в теплофизической модели используется трансверсально-изотропная модель пространственного распределения физических свойств вокруг магматического очага.

Допустим, для повышения проницаемости пород имеющегося подземного коллектора или для его создания будет осуществляться гидроразрыв с помощью гидро- или терморазрыва.

Как показывает мировой опыт обеспечения гидроразрыва в резервуарах, различия в трехмерном распределении прочностных свойств пород, нагнетание в резервуар жидкости под давлением, превышающим прочность пород, приводит к тому, что в одних случаях происходит объемный фракинг резервуара в некотором объеме, а в других – вспариваются магистральные трещины. В какой мере в интерпретации результатов моделирования циркуляционных систем, учитываются такие моменты?

Полагаю, что в тексте диссертации вопросы верификации модели нашли достаточное отражение, хотя в автореферате этого нет.

При чтении автореферата, можно заметить несколько других недоработок, которые, впрочем, не ухудшают общего хорошего впечатления от стилистики, языка и содержания текста:

– в названии работы не указано, где расположена изучаемая Авачинская площадь (Камчатка). Не все специалисты, проживающие за пределами региона, могут знать местоположение площади, которая считается пока лишь перспективной для эксплуатации.

– любое программное обеспечение относится к объектам интеллектуальной собственности. Из текста невозможно понять, является ли HYDROTHERM программным продуктом с открытым кодом, или же разработана автором. А если это лицензионный продукт – где информация и права на её использование?

Несмотря на отмеченные недоработки, автор диссертации:

– самостоятельно чётко и ясно обосновал и сформулировал цель и задачи исследования и защищаемые положения;

– собрал, систематизировал и выполнил анализ всей доступной ему информации о строении необходимый объем данные о геологогеофизической и теплофизической изученности района работ;

– разработал методологию исследований и применил необходимые для решения поставленных задач методы исследований.

– продемонстрировал высокий уровень квалификации и владения методами математического моделирования процессов тепломассопереноса. Важным достоинством методологического построения исследования является то, что диссертант сосредоточился на моделировании преимущественно процессов теплопереноса, отказавшись от изучения подробного массопереноса.

В диссертации К.А. Павлова обоснованы все защищаемые положения, а сам диссертант показал высокий уровень владения методологией и методами научных исследований в области горной теплофизики.

Разработанные им методы и подходы к изучению процессов теплопереноса в естественном состоянии методами математического моделирования, имеют важное практическое значение (для освоения ресурсов подземного тепла Авачинской площади на Камчатке) и теоретическое – для совершенствования теории извлечения использования геотермальной энергии активных вулканов.

Название, содержание диссертации и изложенные в ней результаты исследований соответствуют научной специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика.

Диссертация соответствует требованиям ВАК Положения о порядке присуждения ученых степеней, принятого ВАК к диссертациям, предъявляемым к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Кирилл Алексеевич Павлова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности: 25.00.20 – Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

*Я даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой докторской диссертации, и их дальнейшую обработку.*

кандидат геолого-минералогических наук  
Старший научный сотрудник

Делемень Иван Фёдорович

2 октября 2017 г.

Лаборатория тепломассопереноса  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН)  
Российская академия наук  
бульвар Пийпа, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006  
телефон: +7-4152-29-77-98  
e-mail: delemen@kscnet.ru

Подпись

заверяю.

Зав. ОК ИВиС ДВО РАН



*Принципиальных замечаний к данному докторской диссертации нет.*

Основное содержание работы разбито на четыре главы.

В первой главе сформулированы цели и задачи исследования. В автореферате отмечено, что в этой главе приведен анализ результатов ранее выполненных натурных исследований теплосто режима Авачинской геотермальной площади, сущность основные характеристики системы как объекта освоения в целом использующих ее тепловых ресурсов. В любом научном исследовании, в том числе состоянии изученности проблемы, выходится для того, чтобы решить,