

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Павлова Кирилла Алексеевича на тему

«Исследование процессов теплопереноса в породах Авачинской площади в естественном состоянии и при перспективном получении геотермальной энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

### **Актуальность темы диссертации.**

Актуальность выбранной темы диссертации определена мировым трендом промышленного развития крупных стран в условия глобального истощения традиционных видов топлива и повышения в связи с этим процессом степени использования возобновляемых источников энергии. В работе отмечено, что немалую долю в топливно-энергетическом балансе регионов России может составить геотермальная энергетика, что особенно перспективно для Камчатки. Автор приводит данные о том, что до 30% энергопотребления центрального энергоузла Камчатского края обеспечивается за счет геотермальных источников. Но среди стран мира, использующих геотермальную энергию, Россия занимает лишь 14 место с показателем установленной мощности ГеоЭС в 97 МВт., тогда как потенциальная геотермальная мощность в регионе превышает 2 ГВт.

Актуальным является и ориентирование автора на использование расположенных вблизи поверхности магматических очагов, имеющих более высокую энтальпию добываемого флюида, и более высокую продуктивность, чем скважины на месторождениях парогидротерм. Эффективность преобразования тепловой энергии теплоносителя последних в электрическую незначительна, вследствие его невысокого эксергетического потенциала.

## **Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

В целом, можно согласиться с формулировками автора о научной новизне работы, заключающейся в разработке трехмерной термогидродинамической модели Авачинской геотермальной площади, с учетом фазовых переходов теплоносителя в полном диапазоне возможных состояний (надкритический флюид, перегретый пар, сухой насыщенный и влажный пар, жидкость), экспериментальном исследовании теплофизических свойств горных пород и теплоносителя в диапазоне температур и давлений 1200°С и 1 ГПа.

В установлении на базе разработанной модели закономерностей распределения температуры и фазового состояния флюида в массиве горных пород исследуемой геотермальной системы.

В оценке технико-экономических показателей перспективного проекта разработки тепловых ресурсов Авачинской геотермальной площади по циркуляционной технологии типа «дублет».

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечивается: использованием фундаментальных законов сохранения массы и энергии при составлении численной модели теплопереноса; использованием в численных экспериментах значений теплофизических свойств пород, полученных по результатам лабораторных исследований образцов горных пород Авачинской площади и из базы накопленной геолого-геофизической информации об объекте исследования; значительным количеством (более 100) выполненных вариантов численных экспериментов в широком диапазоне исходных параметров.

## **Практическая ценность результатов.**

Заключается в том, что результаты численного моделирования и установленные с их помощью технологические параметры геотермальной циркуляционной системы типа «дублет» могут быть рекомендованы при проектировании опытной геотермальной циркуляционной системы для освоения ресурсов исследуемого объекта.

Полученные прогнозные параметры Авачинской геотермальной площади позволяют оценить перспективы использования энергетического потенциала объекта при его промышленном освоении.

Результаты диссертационной работы предложены в 2015 г. КГБУ «Региональный центр развития энергетики и энергосбережения» для внедрения, в ходе выполнения НИГТЦ ДВО РАН научно-исследовательской работы «Исследование геотермальных ресурсов Авачинской группы вулканов».

Приведена оценка технико-экономических показателей перспективного проекта разработки тепловых ресурсов Авачинской геотермальной площади по циркуляционной технологии типа «дублет».

#### **Список замечаний по диссертации и автореферату.**

1. В обзорной части автором отмечено отсутствие учета фактического рельефа дневной поверхности в работах предыдущих исследователей, но не приведены результаты эффективности этого учета в том числе на искомые параметры по результатам моделирования или в сравнении с другими работами.

2. На (стр. 4) диссертации при оценке потенциальных запасов геотермальной энергии в регионе приведены мощностные показатели. Аналогично на (стр. 3) автореферата.

3. Подсчет количества блоков произведен не совсем корректно (стр. 56) текста диссертации.

4. (стр.11 автореферата) «... Освоение ресурсов высокотемпературной зоны горных пород предлагается по технологии циркуляционной системы типа «дублет». Технология предполагает повышение проницаемости пород имеющегося подземного коллектора или его создание с помощью гидро- или терморазрыва, а также дальнейшее устройство циркуляции жидкости посредством системы нагнетательной и добычной скважин.» Однако в ТЭО затраты на эти мероприятия не отражены.

Указанные критические замечания не носят принципиального характера, не являются существенными и ни в коей мере не умаляют качества этого актуального и полезного исследования.

### **Основное содержание работы.**

В главе 1 приведен анализ результатов ранее выполненных исследований Авачинской геотермальной площади; установлены геолого-геофизические, гидрогеологические, геохимические условия системы; дана оценка тепловой мощности системы по результатам натурных исследований теплового режима Авачинского вулкана; сформулированы цель и задачи исследований.

В главе 2 на основании накопленного комплекса геолого-геофизических данных построена концептуальная модель Авачинской геотермальной площади; оценены параметры магматического очага и вмещающих его горных пород; установлены варианты реализации модели для двух доминирующих типов теплопереноса: кондуктивного и конвективного.

В главе 3 на основе принятой концептуальной модели разработана численная трехмерная термогидродинамическая модель Авачинской геотермальной площади; определены размеры моделируемой области и ее доменов; численно реализованы начальные и граничные условия в модели; на основе разработанной модели выполнен расчет и анализ параметров теплопереноса в горных породах Авачинской геотермальной площади; установлены зависимость конфигурации изотерм и границы области флюида в надкритическом состоянии от параметров очага и двух доминирующих типов теплопереноса; оценены тепловые ресурсы вмещающих очаг горных пород.

В главе 4 выполнено численное моделирование эксплуатации геотермальной циркуляционной системы типа «дублет» при начальных условиях, соответствующих сверхкритическим термодинамическим в породах Авачинской геотермальной площади; установлены рациональные технологические параметры циркуляционной системы с целью перспективного получения геотермальной энергии; выполнена технико-экономическая оценка перспектив-

ной разработки тепловых ресурсов Авачинской геотермальной площади по технологии геотермальных циркуляционных систем.

### **Объем и структура работы.**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 153 наименований, содержит 123 страницы машинописного текста, 38 рисунков, 11 таблиц.

### **Соответствие содержания диссертации указанной специальности.**

В представленной работе рассматриваются процессы тепломассопереноса в горных породах (геотермальных системах) связанные с фазовыми превращениями вода–пар в широком диапазоне свойств горных пород вблизи магматического очага, а также температур и давлений фильтрующихся флюидов. Рассмотрение этих процессов связано с проблемой совершенствования энергообеспечения региона в том числе в части гражданских и промышленных объектов и полностью соответствует паспорту специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

### **Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.**

Автореферат в полной мере отражает существо диссертационной работы, по объему и содержанию соответствует требованиям ВАК РФ.

### **Заключение о соответствии работы требованиям ВАК.**

Диссертация соискателя Павлова К.А. является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной задачи количественной оценки термогидродинамических условий в породах Авачинской геотермальной площади и установления рациональных параметров освоения ее тепловых ресурсов по технологии геотермальных циркуляционных систем, имеющей существенное теоретическое и практическое значение.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор – Павлов Кирилл Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических

наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент – Попов Владимир Иванович, кандидат технических наук, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории горной теплофизики.

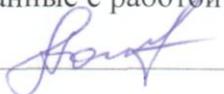
Попов Владимир Иванович

677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, 43, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (ИГДС СО РАН), лаборатория горной теплофизики.

Тел.: 8 (411) 239-00-79 (раб.), +7 924 360 57 61 (моб.)

E-mail: igds@ysn.ru

Я, Попов Владимир Иванович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

26.09.2017  Попов В.И.

Подпись официального оппонента, к.т.н. Попова Владимира Ивановича удостоверяю

Ученый Секретарь  
ИГДС СО РАН  
к.т.н.



 С.И. Саломатова

М.П.

« 26 » сентябрь 2017 г.