ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.101.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГОРНОГО ДЕЛА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТИХООКЕАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.10.2017 г. № 7

О присуждении Павлову Кириллу Алексеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование процессов теплопереноса в породах Авачинской площади в естественном состоянии и при перспективном получении геотермальной энергии» по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите 11 августа 2017 г., протокол № 6, диссертационным советом Д 999.101.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций, 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, приказ Минобрнауки РФ от 07 октября 2016 г. № 1200/нк.

Соискатель Павлов Кирилл Алексеевич 1985 года рождения, в 2007 г. окончил Камчатский государственный технический университет по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», в 2013 г. окончил обучение в аспирантуре Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук по специальности 25.00.36 – «Геоэкология», работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Научно-исследовательском геотехнологическом центре Дальневосточного отделения Российской академии наук, Федерального агентства научных организаций.

Диссертация выполнена в научно-исследовательском отделе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – доктор технических наук, Пашкевич Роман Игнатьевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, директор.

Официальные оппоненты:

1. Попов Юрий Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, центр добычи углеводородов;

2. Попов Владимир Иванович – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория горной теплофизики, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Собисевичем Алексеем Леонидовичем доктором физико-математических наук, член-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии, указала, что «диссертация К.А. Павлова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Выдвинутые на защиту положения обоснованы и доказаны. Материалы диссертации апробированы на совещаниях и конференциях, а также представлены в печатных изданиях.

Качество и полнота изложения материала диссертации соответствует положениям ВАК Минобрнауки России.

Автореферат и опубликованные труды отражают основное содержание диссертации и полученные в ней результаты.

Диссертационная работа соответствует номеру специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, а ее автор Павлов Кирилл Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

В опубликованных материалах, общим объемом 7 п.л., отражены основные положения и идеи диссертационной работы, результаты выполненных численных экспериментов на разработанных моделях Авачинской площади и геотермальной циркуляционной системы. Авторский вклад соискателя в публикациях, объемом 6 п.л., состоял в разработке численной трехмерной термогидродинамической модели, установлении на базе разработанной модели закономерностей распределения термодинамических параметров в породах

Авачинской площади и в надкритическом геотермальном коллекторе, оценке технико-экономических показателей перспективной разработки тепловых ресурсов Авачинской площади по технологии циркуляционных систем.

Наиболее значительные работы:

1. **Павлов К.А.** Численное моделирование работы геотермальной циркуляционной системы в надкритических начальных условиях с целью оценки возможности выработки электрической энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. 2: Камчатка. – 2014. – № S 2. – С. 214–233.

2. **Павлов К.А.** Оценка эффективности извлечения тепловой энергии магма-геотермальных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. 2: Камчатка. – 2014. – № S 2. – С. 234–251.

3. **Павлов К.А.** Перспективы использования тепловых ресурсов Авачинской геотермальной площади для электроснабжения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 147-153.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1. Группа компаний «ИНСОЛАР» (г. Москва), подписанный научным руководителем, д.т.н. Васильевым Г.П. Замечания: 1. В автореферате недостаточно отражена проблема точности определения теплотехнических характеристик горных пород, используемых в качестве исходных данных при проведении численных экспериментов. Было бы правильным дать укрупненную оценку чувствительности полученных результатов к точности определения этих параметров и их изменениям в процессе эксплуатации ГеоЭС. 2. При построении динамических зависимостей, представленных на рисунках 8-10, было бы целесообразно рассмотреть временной горизонт первых пяти лет эксплуатации с учетом сезонного изменения нагрузок на ГеоЭС и выхода геотермального коллектора на квазипериодический режим.

2. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (г. Москва), подписан старшим научным сотрудником Уткиным И.С. Замечания: 1. При разработке области надкритического состояния теплоносителя целесообразней использовать технологию «труба в трубе» без контакта теплоносителя с горными породами из-за высокой химической агрессивности теплоносителя. 2. В работе предполагается, что внутренний объём магматического очага полностью изолирован от проникновения флюидов, обтекающих очаг. Однако магматический очаг, вследствие тепломассообменных процессов, происходящих внутри него, будет всасывать флюиды, находящиеся вне очага на его границе. Таким образом, наполнение надкритического коллектора будет затруднено, что дает затруднения при оценке объема надкритического коллектора.

3. Музей Землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), подписан ведущим научным сотрудником, д.т.н. Галушкиным Ю.И. Замечания: 1. Не обосновано значение времени моделирования 60 тысяч лет. 2. В реферате был бы уместен анализ изменений в температурном поле, вызванных увеличением или уменьшением проницаемости кондуктивной и резервуарной зоны. 3. При температуре 1200°С будет происходить плавление

вмещающих очаг пород и будут иметь место процессы выделения или поглощения скрытой теплоты плавления. В реферате не сказано о данном эффекте.

4. Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (г. Якутск), подписан заведующим лабораторией горной теплофизики, д.т.н. Курилко А.С. Замечание: из рисунка 6 автореферата не ясно при каком граничном условии выполнялись расчеты на модели геотермальной циркуляционной системы: граничное условие первого рода или второго.

5. ФГБУН Геологический институт СО РАН (г. Улан-Удэ), подписан ведущим научным сотрудником, д.г.-м.н. Жатнуевым Н.С. и научным сотрудником, к.г.-м.н. Васильевым В.И. Замечания: 1. В системе уравнений сохранения массы и энергии, приведенных в автореферате, не учитывается трещинная (вторичная) проницаемость, которая является доминирующей для потоков гидротерм. 2. В работе не учитывается весьма существенное влияние отложения вещества из гидротермальных растворов на проницаемость коллектора. 3. Не учтено изменение проницаемости коллектора из-за растворения и осаждения вещества при фазовых переходах теплоносителя.

6. Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский), подписан доцентом кафедры высшей математики, к.т.н. Чермошенцевой А.А. Замечание: для уточнения расчетов температуры добываемого теплоносителя в результатах моделирования нужно учесть влияние теплообмена скважин с массивом окружающих пород.

7. Горный институт Кольского научного центра РАН (г. Апатиты), подписан ведущим научным сотрудником, к.т.н. Амосовым П.В. Замечания: 1. Наличие в автореферате некоторых стилистических ошибок при построении предложений и отсутствие описания некоторых параметров формул 1 и 2. 2. Отсутствие публикаций в выпусках других ВАКовских журналах помимо Горного информационно-аналитического бюллетеня, что могло бы придать весомость выполненной автором работе.

8. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), подписан профессором, заведующим лабораторией тепломассопереноса, д.г.-м.н. Кирюхиным А.В. Замечания: 1. В диссертации отсутствует обзор мирового опыта разбуривания магматических очагов активных вулканов и не использованы новые данные по позиционированию магматогенных резервуаров Авачинского и Корякского вулканов из статей А.В. Кирюхина и соавторов 2016 и 2017 гг. 2. По автореферату отмечается несколько мелких технических замечаний по представлению результатов моделирования и исходным данным.

9. КГБУ «Региональный центр развития энергетики и энергосбережения» (г. Петропавловск-Камчатский), подписан заместителем директора, к.т.н. Кудряшовым В.А. Замечание: необходимо привести сравнение разработанной теоретической модели с современными данными измерений теплового потока.

10. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), подписан старшим научным сотрудником, к.г.-м.н. Делеменем И.Ф. Замечания: 1. Отсутствие в автореферате данных об оценке и характеристике тепловых ресурсов объекта, геолого-геофизических, гидрогеологических и др. условиях системы по результатам предше-

ствующих исследований. 2. При построении модели не учтены данные последних исследований в восточном секторе объекта, а также не обоснована единственность модели. 3. Из автореферата не понятно учтена ли трещинная проницаемость в модели. 4. В работе не рассмотрен процесс создания проницаемости резервуара посредством гидроразрыва. 5. В названии работы следовало бы указать расположение исследуемого объекта. 6. Не указано данных относительно лицензионных прав на программный комплекс, используемый в численных экспериментах.

11. Геологический институт РАН (г. Москва), подписан профессором, заведующим лабораторией тепломассопереноса, д.г.-м.н. Хуторским М.Д. и главным научным сотрудником, д.г.-м.н. Поляком Б.Г. Замечания: 1. Отдельная формулировка «идеи диссертационной работы» представляется излишней; ее лучше было бы включить в определение ее цели. 2. Первое защищаемое положение «Исследование процессов теплопереноса на Авачинской геотермальной площади возможно ...» тоже сформулировано неудачно и звучит как предположение. 3. Утверждение, что «достоверность и научная обоснованность положений и выводов...» обеспечивается «...использованием фундаментальных законов сохранения массы и энергии» относится к любому физическому исследованию, выносимому на обсуждение. 4. Указав на стр. 7 автореферата глубину залегания магматического очага «от 0 до 6 км ниже уровня моря», автору следовало бы уточнить, глубину чего – кровли, центра, подошвы. 5. В подпись к рисунку 1 надо было внести ссылку на таблицу 1, в примечании к которой указать аномалии скорости (какой?) и поглощения (чего?) имеются в виду. 6. В начале стр. 9 стоило привести «гидрогеологические» и прочие параметры скважины ГК-2а, в т.ч. глубину, температуру на забое, геотермический градиент и прочее, показать ее местоположение на рисунке 1 и согласовать ее градиент при тепловом потоке в 120 мВт/м^2, указанному здесь же в 12 км от вулкана «средне-региональному» - 30 град/км. 7. Непонятно происхождение отрицательного кондуктивного теплового потока под очагом, как показано на рисунках 4-5.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием профиля научных работ оппонентов и сотрудников ведущей организации направлению научных исследований диссертационной работы, обеспечением выполнения требований пунктов 22 и 24 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана концептуальная модель теплопереноса в породах Авачинской площади;

на основе принятой концептуальной модели разработана трехмерная численная термогидродинамическая модель системы;

на базе разработанной модели получены распределения температуры и фазового состояния теплоносителя в породах системы;

установлена рациональная технологическая схема использования теплового потенциала Авачинской площади;

оценена перспективность освоения тепловых ресурсов Авачинской площади.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

установлены закономерности распределения температуры и фазового состояния теплоносителя в породах Авачинской площади на базе разработанной модели;

получены закономерности распределения термодинамических параметров в геотермальном коллекторе с начальными надкритическими условиями при его эксплуатации по скважинной циркуляционной технологии;

методом численного моделирования обоснована рациональная технологическая схема и параметры циркуляционной системы «дублет» при освоении теплового потенциала Авачинской площади с целью получения геотермальной энергии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

результаты полученных численных экспериментов могут быть использованы при дальнейших исследованиях, оценке энергетического потенциала и освоении геотермальных ресурсов Авачинской площади;

установленные рациональные технологические параметры геотермальной циркуляционной системы типа «дублет» могут быть рекомендованы для проектирования опытной геотермальной циркуляционной системы при перспективной разработке ресурсов объекта;

результаты диссертационной работы предложены КГБУ «Региональный центр развития энергетики и энергосбережения» для внедрения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены в процессе численного моделирования на базе программного комплекса HYDROTHERM, использующего фундаментальные законы сохранения массы и энергии в основе математической модели теплопереноса;

численная модель основывается на комплексе накопленной достоверной геолого-геофизической информации, полученной в ходе многолетних исследований объекта;

использованы экспериментальные данные о комплексе тепловых свойств горных пород, полученные по результатам лабораторных измерений на представительном объеме образцов горных пород, отобранных на объекте исследования, с применением современных методик и аппаратуры.

Личный вклад соискателя состоит:

- в постановке цели, формулировке задач и разработке методики исследований, систематизации и обработке геофизических, геологических, гидрогеологических данных, а также данных по геотермическому режиму Авачинской геотермальной площади, разработке модели площади, выполнении численных экспериментов и интерпретации полученных результатов, а также обработке их на ЭВМ, разработке практических рекомендаций.

На заседании 17 октября 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Павлову К.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **16** человек, из них **8** докторов наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», участвовавших в заседа-

нии, из **20** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за – **16**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель
диссертационного совета Рассказов Игорь Юрьевич

Учёный секретарь
диссертационного совета Корнеева Светлана Ивановна

17 октября 2017 г.