

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт нефтегазовой геологии и
геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИНГГ СО РАН)

Проспект Академика Коптюга, д. 3
Новосибирск, 630090
Тел. (383) 333-29-00, факс (383) 330-28-
07

E-mail: ipgg@ipgg.sbras.ru
www.ipgg.sbras.ru
ОКПО 93857650 ОГРН 1065473056670
ИНН/КПП 5408240311/540801001

От 26.05.2017 № 15350-III-2171/362

На № _____ от _____



_____ мая 2017 г.

Отзыв ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук

на диссертацию Горностаевой Анастасии Александровны

**«Реконструкция климатически обусловленных изменений теплового потока
через земную поверхность по геотермическим данным»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых.

Изучение палеоклимата Земли в настоящее время является весьма актуальным
научным направлением в связи с широко обсуждаемой проблемой современного глобального

потепления климата. До настоящего времени геотермия вносила свой вклад в палеоклиматологию, предоставляя сведения об изменениях палеотемпературы земной поверхности (GST), реконструированной в результате специальной интерпретации скважинных термограмм. В своей диссертационной работе А.А. Горностаева развивает методику оценки по геотермическим данным другой климатической характеристики – дополнительного теплового потока (SHF) через земную поверхность, индуцированного солнечной радиацией. Этот небольшой по величине поток является разностью основных (больших по значению) элементов теплового баланса земной поверхности - приходящей прямой радиации и уходящих потоков тепла. Даже современные его значения оцениваются по балансовым данным с большой погрешностью. Геотермический метод предоставляет уникальную возможность достаточно точно оценить вариации теплового потока через земную поверхность не только в настоящее время, но и в прошлые эпохи. В этой связи очевидна несомненная **актуальность и практическая значимость** исследований, выполненных А.А. Горностаевой в диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения общим объемом 127 стр., включая 32 рисунка и 5 таблиц. Список литературы содержит 180 наименований.

Во **Введении** диссертации сформулирована актуальность темы исследований; указаны цель и задачи исследований, защищаемые положения, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методы исследований, научная новизна и личный вклад автора; приведены сведения по апробации работы. Довольно необычно выглядит во Введении раздел «Разработанность темы исследования». Обычно такой материал помещается в обзорной главе, которой нет в данной работе. Возможно, что подобное расположение обзорных сведений позволяет, по мнению автора, быстрее ввести читателей в тему исследований.

В главе 1 диссертации приведены данные о формировании теплового поля верхней части земной коры. Рассмотрены сведения о внутренних источниках тепла, условия теплопередачи в горных породах, влияние условий режима теплообмена на земной поверхности. Дано представление о климатически обусловленном тепловом потоке, формирующем нестационарную составляющую теплового поля горных пород. Теоретически обоснована возможность реконструкции теплового потока через земную поверхность по геотермическим данным.

В главе 2 описываются принципы и методы реконструкции температурной и тепловой истории земной поверхности по геотермическим данным. Основное место занимает описание наиболее распространенных методов реконструкции температурных историй земной поверхности посредством инверсии скважинных термограмм. Указаны и

прокомментированы первые немногочисленные работы по реконструкции теплового потока через земную поверхность по геотермическим данным. Сделан вывод о необходимости дальнейшего развития методики оценки теплового потока, используя для этого реконструированные температурные истории. В общем случае развиваемая диссертантом методика включает две процедуры: 1) инверсии скважинных термограмм для реконструкции изменений температуры земной поверхности и 2) оценка вариаций теплового потока по реконструированным температурным историям.

Выполненный во введении и главах 1 и 2 анализ литературных данных свидетельствует о высокой эрудиции и уровне компетенции автора диссертации.

В главе 3 представлен разработанный автором алгоритм взаимной трансформации рядов изменений температуры земной поверхности и теплового потока через земную поверхность. В первую очередь дано детальное описание разработки алгоритма оценки изменений теплового потока через поверхность Земли по данным об изменении ее температуры (алгоритм GST-SHF). В основе алгоритма лежат одномерное нестационарное уравнение теплопроводности и закон Фурье. Температура поверхности представлена в виде трехпараметрического закона. В итоге получен ряд математических выражений для расчета значений теплового потока, описан порядок применений разработанного алгоритма. Для экспериментальной проверки алгоритма использованы результаты мониторинга температуры на глубинах 1 - 3 см в приповерхностном слое гранитного щебня. Тепловой поток вычислялся с помощью алгоритма GST-SHF по показаниям верхнего датчика и по всем данным на основании закона Фурье. Значения потоков в целом хорошо согласуются (отклонения 10-15%). Проведенные исследования показали высокую надежность реконструкции изменений теплового потока через земную поверхность по температурным данным с использованием предложенного алгоритма. Рассмотрена возможность обратной процедуры – преобразования вариаций теплового потока в температурную историю. Алгоритмы прямой и обратной трансформации реализованы в компьютерной программе PaleoTHF

В главе 4 излагается развитая автором методика орбитальной корректировки временных шкал геотермических реконструкций палеоклимата. Она сводится к совмещению кривых теплового потока и инсоляции (или другой характеристики внешнего радиационного воздействия) путем варьирования коэффициента эффективной температуропроводности. Согласование кривых контролируется максимальным значением их взаимной корреляционной функции. Процедура корректировки реализована в виде блока программы PaleoTHF.

В главе 5 описаны палеоклиматические реконструкции изменений теплового потока через земную поверхность на Урале, в Карелии и Канаде за последние 30 000, 1000 и 150 лет, полученные с помощью разработанных диссертантом методик. В качестве исходных данных использованы ранее полученные истории изменения температуры поверхности, а также метеоданные о температуре приземного слоя воздуха. Полученные тепловые и температурные истории существенно различаются по форме и хронологии. Диссертант выполняет их интерпретацию. Реконструкции теплового потока сопоставлены с различными характеристиками внешнего радиационного воздействия. В итоге это позволило установить, что основным фактором, определяющим изменение климата в удаленные эпохи (10^3 - 10^4 лет) является солнечная радиация. Однако с приближением к современности ее роль ослабевает. В поздние времена (порядка сотен лет и менее) усиливается влияние парникового эффекта.

В Заключение сведены результаты проведенных исследований и определены перспективы дальнейших исследований по интеграции геотермических данных в палеоклиматологию и глобальные климатические модели.

Анализ диссертационной работы и автореферата свидетельствует, что поставленная перед А.А. Горностаевой цель исследований – создание комплексного подхода к изучению вариаций теплового потока через земную поверхность в прошлом - достигнута, конкретные задачи исследований успешно решены. К формулировке защищаемых положений и личного вклада автора претензий нет. Результаты, вошедшие в диссертационную работу А.А. Горностаевой, докладывались на семинарах и конференциях и опубликованы в 33 работах, в том числе в 7 статьях в изданиях, входящий в список, рекомендованный ВАК для материалов кандидатских диссертаций. Диссертация и автореферат в целом написаны хорошо, с минимальным количеством ошибок, материал изложен на высоком научном уровне. Автореферат достаточно полно представляет содержание диссертации.

Методы исследований. При разработке методик и алгоритма автор использовал широко известные аналитические решения уравнения теплопроводности. Оценка точности методик производилась с помощью синтетических и достоверных экспериментальных данных. Для корректировки временной шкалы использовались статистические методы анализа. Программная реализация алгоритма осуществлялась средствами объективно-ориентированного программирования. Достаточная степень **достоверности результатов** обеспечивается корректностью математических постановок задач, использованием стандартных математических и статистических методов анализа данных, согласием с результатами экспериментальных исследований и с палеоклиматическими свидетельствами.

Теоретическая и практическая значимость исследований. Созданная методика (алгоритм, программа) существенно расширяет возможности палеоклиматического анализа

геотермических данных. Методика может быть использована для оценки вариации потоков тепла через земную поверхность по данным инструментальных температурных измерений, включая метеоданные, что позволяет заменить в ряде случаев трудоемкие тепломерные измерения. Геотермические реконструкции способствуют лучшему пониманию функционирования климатической системы Земли и важны для понимания механизмов теплообмена между атмосферой и горными породами.

Научная новизна работы. Автором разработан и программно реализован новый более точный алгоритм оценки изменений теплового потока через земную поверхность по данным об изменениях температуры поверхности. Предусмотрена также обратная процедура оценки изменений поверхностной температуры по данным о тепловом потоке. Впервые предложена методика построения временных шкал геотермических реконструкций, основанная на синхронизации изменений теплового потока и внешних радиационных факторов. Отношение потоков (теплового и солнечной радиации) предложено рассматривать в качестве альтернативного показателя климатической чувствительности земли. Впервые получены реконструкции вариаций теплового потока через земную поверхность за 30000, 1000 и 150 лет на Урале, в Карелии и Канаде. Рассмотрены причины вариаций теплового потока: климатические изменения масштаба 1000-30000 лет определяются изменениями солнечной радиации, в вековых колебаниях климата ведущую роль начинает играть парниковый фактор.

В качестве замечаний можно отметить следующее.

1. В работе неоднократно отмечается, что изменения теплового потока через земную поверхность опережают изменения температуры (аналитическая формула 3.29, результаты реконструкции теплового потока по разным температурным историям). Считаю, что автору следовало бы уделить больше внимания выяснению физического обоснования подобного явления.

2. В диссертации буквально одной фразой отмечается, что измерения теплового потока через земную поверхность можно осуществить с помощью тепломеров. Тему тепломеров следовало бы осветить в работе более детально, чтобы, например, объяснить, почему в трудоемком эксперименте по проверке алгоритма (стр. 52) наравне с датчиками температуры не применялся тепломер.

3. К недостатку работы на мой взгляд следует отнести отсутствие в диссертации обзорной статьи. Наличие обзорной статьи позволило бы сделать более компактным Введение, ликвидировать повторы (сведения о методах инверсии термограмм содержатся во Введении и главе 2), сократить число глав.

4. Ранее уже отмечалось, что диссертационная работа в целом выполнена очень грамотно. Однако незначительные ошибки все же встречаются. Отметим некоторые. Так, на стр. 52-53 указано, что датчики температуры располагаются на глубинах 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32 см. Пропущен датчик на глубине 3 см. Кстати, следовало бы указать, почему «измеренный» тепловой поток вычислялся по записям только первых трех датчиков? С какой целью использовались записи остальных датчиков?

Можно также отметить, что на рис. 5.18 нет индексов у графиков.

Высказанные замечания не снижают высокой оценки рассмотренной работы. Диссертация Горностаевой А.А. представляет научно квалификационную работу, которая выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, внутренним единством и содержит результаты исследований по развитию методики восстановления палеоклиматических вариаций теплового потока через земную поверхность, имеющей существенное значение для понимания механизмов теплообмена между атмосферой и горными породами и развития палеоклиматологии.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук по вышеуказанной специальности, а её автор А.А. Горностаева достойна присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Главный научный сотрудник

Лаборатории естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН

д. г.-м. н., профессор

раб. телефон – 8(383)3302591,

адрес – 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, д. 3,

e-mail – DuchkovAD@ipgg.sbras.ru



Дучков Альберт Дмитриевич

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д004.009.01.

Диссертация и отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании лаборатории естественных геофизических полей, одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которой является изучение теплового поля Земли, 10 мая

2017 г., протокол № 1, отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.
Отзыв утвержден на заседании Ученого совета ИНГГ СО РАН, протокол № 6 от 10 мая 2017
г.

И.о. заведующего Лабораторией естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН

к.ф.-м.н. *Т. Козлова*, Козлова Марина Петровна

раб. телефон – 8(383)3330399,

адрес – 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, д. 3,

e-mail – KozlovaMP@ipgg.sbras.ru

Согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой
диссертационного совета Д004.009.01.