

На правах рукописи

САЛЬМАНОВА РАУШАНИЯ ЮРИСОВНА

**СТРУКТУРА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЮЖНОГО УРАЛА С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТА**

Специальность 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Уфа - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Голованова Инесса Владимировна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук

Официальные оппоненты:

Попов Юрий Анатольевич

доктор физико-математических наук

Московский научно-исследовательский центр Шлюмберже, научный советник

Парфенюк Ольга Ивановна

доктор физико-математических наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 22 марта 2012 г. в 16⁰⁰ на заседании Диссертационного Совета Д.501.001.63 по геофизике при МГУ им. М.В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический факультет, аудитория ЦФА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан « » февраля 2012 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета

Смирнов Владимир
Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Урал характеризуется зоной аномально низких тепловых потоков (менее 30 мВт/м²) в западной части Тагило-Магнитогорского прогиба, в то время как по мировым данным тепловой поток близких по возрасту структур составляет порядка 55 мВт/м².

В настоящее время существует несколько возможных объяснений возникновения зоны аномально низких тепловых потоков. Наиболее вероятным представляется вывод о том, что основной ее причиной является низкая теплогенерация в Тагило-Магнитогорской зоне. Наблюдаемый минимум теплового потока в какой-то мере усилен искажающим влиянием палеоклимата, сильнее выраженным в неглубоких скважинах, по измерениям в которых установлено существование зоны аномально низких тепловых потоков. В то же время часть исследователей либо отрицает существенное влияние палеоклимата на измеренный тепловой поток, либо, наоборот, преувеличивает, полностью объясняя таким образом возникновение аномалии. Существуют немногочисленные попытки внести поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток на Урале. Несмотря на то, что в настоящее время большинство исследователей признает факт искажения измеренного теплового потока влиянием палеоклимата, до сих пор не существует единой методики учета этих искажений, и в мире не известны работы, в которых хотя бы по отдельным регионам были построены карты исправленного теплового потока.

Необходимо отметить, что, кроме палеоклимата, на распределение теплового потока может оказать влияние движение подземных вод. Существующие на сегодняшний день работы (Сальников, Попов, 1982; Попов и др., 1999; Хуторской и др., 2004; Яковлев, 1999, и др.) не позволяют однозначно оценить искажения теплового поля на Урале под действием фильтрации. Возможно, исключение влияния палеоклимата будет способствовать выяснению роли гидрогеологического фактора.

Учет искажающего влияния палеоклимата должен внести вклад в уточнение представлений о распределении теплового потока на Урале и в понимание природы Уральской аномалии тепловых потоков.

Цель работы.

Изучение природы аномалий теплового потока на Южном Урале и прилегающих территориях. Введение поправок на искажающее влияние палеоклимата в значения плотности теплового потока, полученные классическим методом. Составление нового варианта карты распределения теплового потока, исправленного с учетом влияния палеоклимата.

Задачи исследований:

1. Реконструкция изменений климата на Южном Урале по геотермическим данным.
2. Создание модели изменений климата на Южном Урале в прошлом и выработка единой методики введения палеоклиматических поправок, с учетом региональной зависимости палеоклиматического сигнала.

3. Математическое моделирование искажений теплового потока и геотермического градиента для различных зон.

4. Вычисление исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока.

5. Составление нового варианта карты распределения теплового потока Урала, исправленного на влияние палеоклимата.

6. Анализ и интерпретация полученных результатов.

Научная новизна работы.

Выполнены реконструкции изменений климата методом инверсии в функциональном пространстве по измерениям температуры в скважинах на Центральном и Южном Урале на разные периоды времени: за последние несколько столетий и на период до 100 тысяч лет назад и прямая оценка амплитуды послеледникового потепления по геотермическим данным для Южного Урала.

Предложена модель изменений климата в прошлом, позволяющая ввести палеоклиматические поправки в измеренные значения теплового потока на Урале.

Разработана методика введения палеоклиматических поправок, с учетом региональной зависимости палеоклиматического сигнала.

Введены поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток в изучаемом регионе по всем скважинам, в которых выполнены его измерения.

Построена карта теплового потока Урала, исправленного на влияние палеоклимата, не имеющая аналогов в мире.

Защищаемые положения.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Новые результаты реконструкции изменений палеоклимата по геотермическим данным, приведенные в работе, создают основу для уточнения модели изменений палеоклимата на Южном Урале.

2. Предложенная автором методика, основанная на использовании выработанной модели изменений палеоклимата на Урале и моделировании влияния палеоклимата в различных зонах и на разных глубинах, позволяет ввести поправки в измеренные значения теплового потока.

3. Результаты исключения искажающего влияния палеоклимата позволяют утверждать, что искажающее влияние палеоклимата сильнее выражено в неглубоких скважинах, расположенных преимущественно в Тагило-Магнитогорской зоне, пространственно совпадающей с зоной аномально низких тепловых потоков. Однако зона аномально низких тепловых потоков в Магнитогорской зоне четко выявляется и при внесении поправок, то есть возникновение этой аномалии невозможно объяснить только влиянием палеоклимата.

Практическая значимость.

Учет влияния палеоклимата должен внести вклад в уточнение представлений о распределении теплового потока на Урале и в понимании природы Уральской аномалии тепловых потоков. Полученные результаты послужат важным вкладом в создание обоснованной геолого-геофизической

модели региона, выяснение закономерностей геолого-тектонического развития Урала. Предлагаемый подход может быть использован и в других регионах.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы неоднократно докладывались на Всероссийских, региональных и международных конференциях: Третьи научные чтения Ю.П. Булашевича, Екатеринбург, ИГф УрО РАН, 2005 г.; VI Межрегиональная научно-практическая конференция, Уфа, 2006 г.; 6-е Международное совещание "Heat Flow and the Structure of the Lithosphere" (Тепловой поток и структура литосферы), Быков, Чешская Республика, 2006 г.; Девятые Геофизические чтения им. В.В. Федынского, Москва, 2007 г.; VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ, Москва, 2007 г.; Восьмая Уральская молодежная научная школа по геофизике, Пермь: Горный институт УрО РАН, 2007 г.; VI научные чтения имени Ю.П.Булашевича, Екатеринбург, 2007 г.; Международная конференция, посвященная 50-летию Института геофизики УрО РАН, Екатеринбург, 2008 г.; Девятая Уральская молодежная научная школа по геофизике «Современные проблемы геофизики», Екатеринбург, ИГф УрО РАН, 2008 г.; X Международная конференция «Тепловое поле Земли и методы его изучения», Российский государственный геологоразведочный университет, Москва, 2008 г.; 7-я Межрегиональная научно-практическая конференция «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий», Уфа, 2008 г.; VIII Межрегиональная научно-практическая конференция "Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий", Уфа, 2010 г.

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 15 работ, в том числе 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК. Основные результаты работы изложены в двух госбюджетных научных отчетах.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 111 наименований, из них 25 на иностранном языке и одного Приложения. Работа изложена на 116 страницах машинописного текста, включая 18 рисунков, 3 таблиц.

Исходные материалы.

В основу диссертационной работы положены материалы, полученные автором в процессе исследований Института геологии УНЦ РАН по темам «Изучение природы аномалий теплового поля Южного Урала и Приуралья» (Гос. рег. № 5–96–4/3), «Изучение структуры теплового потока Южного Урала с учетом его глубинного строения и особенностей климатической истории» (Гос. рег. № 5–06–16/1), а также в рамках проекта РФФИ на 2005–2006 гг по теме «Составление нового варианта карты теплового потока Урала с учетом влияния палеоклимата» 05-05-64141-а.

Личный вклад автора состоит в следующем:

–реконструкция изменений климата по геотермическим данным методом инверсии в функциональном пространстве за последнее тысячелетие,

реконструкция за период до 100 тыс. лет назад по данным из скважины Леузинская-1, и совместная инверсия данных по скважинам Леузинская-1 и Ильменская-1; прямая оценка амплитуды вюрм-голоценового потепления по геотермическим данным для Южного Урала;

–участие в создании модели прошлых изменений климата на изучаемой территории;

–разработка методики введения палеоклиматических поправок в измеренные значения плотности теплового потока;

–моделирование влияния прошлых изменений климата на распределение температуры и геотермического градиента по глубине для различных зон;

–внесение поправок во все измеренные значения теплового потока на изучаемой территории;

–составление нового варианта карты распределения теплового потока Урала, исправленного на влияние палеоклимата;

–выполнение статистического анализа данных по тепловому потоку Урала, измеренных и исправленных на влияние палеоклимата для проверки объективности существования зоны аномально низких тепловых потоков, интерпретация полученных результатов.

Работа выполнена в лаборатории геофизики Института геологии Уфимского научного центра РАН под руководством д.ф.-м.н. И. В. Головановой, которой автор выражает свою глубокую благодарность. Автор искренне благодарит чл.-корр. РАН, профессора В. Н. Пучкова, оказавшего внимание и поддержку при выполнении работы, Д. Ю. Демежко, в соавторстве с которым был получен ряд научных результатов, за ценные советы, внимание и помощь в сборе, обработке и анализе материалов. Автор признателен всем сотрудникам ИГ УНЦ РАН, принимавшим участие в обсуждении исследований и оказывавшим поддержку.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** рассматривается актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, охарактеризованы методы исследований, приведены защищаемые научные положения, раскрыта научная новизна и практическая значимость результатов исследований.

В **Главе 1. «Тектоническое строение и геотермическая изученность Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы»** приводятся основные сведения о геолого-геофизическом строении, рассмотрена геотермическая изученность региона.

В работе рассматривается территория Южного Урала и прилегающая часть Восточно-Европейской платформы. Для выявления общих закономерностей распределения теплового поля на Урале мы считаем, что необходимо рассмотреть более обширную территорию, включая Средний и часть Северного Урала, где имеются определения теплового потока.

Систематические исследования геотермического поля на Урале и прилегающих территориях начинались с работ П.Ф. Родионова (1936). На этом этапе оценивались возможности геотермии в практике поисково-разведочных исследований.

В пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы в связи с проблемами поисков и разведки нефтегазовых месторождений среди разнообразных геофизических методов исследований применялись и геотермические, проводившиеся многими исследователями (А.В. Дружинин, Д.И. Дьяконов, В.А. Покровский, Б.Г. Поляк и др.). Изучение регионального распределения температур в осадочном чехле и на поверхности фундамента было направлено на выявление зависимости размещения нефтегазоносных залежей и условий их разработки от температурного режима. Тепловые свойства горных пород региона изучались в ограниченном объеме (Рубинштейн, 1950; Мавлютова, Шрейбер, 1969; Дьяконов, Яковлев, 1969).

На Урале первый анализ данных термического каротажа скважин по субширотному сечению был предпринят Ю.А. Ежовым (1968). С использованием табличных сведений о теплопроводности горных пород им были составлены схемы изотерм на срезе -1000 м для всего Урала, ряд геотермических профилей и усредненных термограмм. Относительное охлаждение недр складчатого Урала Ю.А. Ежовым объяснялось хорошей теплопроводностью вулканогенных пород, выходящих на дневную поверхность.

Сводкой данных по температурному режиму крупных регионов, накопленных к началу 70-х годов, является "Геотермическая карта СССР" масштаба 1:5000000 (1972), составленная под редакцией Ф.А. Макаренко, на которой показано распределение температур по поверхности консолидированного основания.

Планомерные геотермические исследования на Южном Урале и в прилегающих областях были начаты в 1969 г. Институтом геологии Башкирского филиала АН СССР. Высокоточные измерения температуры в геологоразведочных скважинах сопровождалось изучением тепловых свойств горных пород, что позволило оценить распределение теплового потока и более обоснованно интерпретировать имеющиеся материалы (Сальников, Огарин, 1977 и др.). В результате этих исследований была получена геотермическая характеристика основных структурно-тектонических зон Южного Урала, причем наиболее детально для складчатой области (Сальников, Огарин, 1977; Сальников, 1984 и др.). Выявлена Южно-Уральская региональная аномалия теплового потока (Сальников, Огарин, 1977) и на Среднем и Северном Урале (Сальников и др., 1983; Булашевич, Шапов, 1978, 1983, 1986).

С конца 70-х годов к изучению распределения теплового потока на Урале подключились сотрудники ГИН АН СССР, ИФЗ АН СССР, ИГ УНЦ АН СССР (Сальников, 1976, 1982, 1984; Сальников, Огарин, 1977; Булашевич, Шапов, 1978, 1983, 1986; Хуторской, 1982). Большое количество новых определений теплового потока выполнено геотермической группой Института геологии

УНЦ РАН в конце 80-х и в 90-е годы (Сальников, Голованова, 1990; Голованова, 1993а, 1995, 1996; Каталог ..., 1994).

Установлено, что Уральская зона аномально низких (менее 30 мВт/м²) тепловых потоков, прослеживающаяся с небольшими перерывами от Южной оконечности Мугоджар до 61° с. ш., локализована в западной части Тагило-Магнитогорской зоны, и не захватывает, как это считалось ранее, прилегающие части Урала и Предуральяского прогиба. Уральская область пониженных тепловых потоков образует обширную зону северо-западного простираения, в которую входит часть Волго-Уральской антеклизы, Уральская складчатая область, юг Западно-Сибирской плиты. Выявлены участки резкой дифференциации теплового потока (от 23 до 58 мВт/м²), приуроченные к зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Уральской складчатой системы.

Возникновение минимума теплового потока на Урале может быть обусловлено целым рядом причин: циркуляция подземных вод, влияние палеоклимата, низкая теплогенерация в коре, пониженный тепловой поток из мантии. Рассматривается также влияние структурных эффектов («корытообразная» форма Тагило-Магнитогорского прогиба) (Ладовский, Рывкин, 2000; Kukkonen et al., 1997 и др) и возможность объяснения аномального геотермического поля линейных областей аллохтонным механизмом перестройки коры (Хуторской, 1985). Также может иметь место комбинация нескольких перечисленных факторов.

В последние годы основное внимание исследователей сосредоточено на изучении природы выявленных аномалий. Выявлены значительные вертикальные вариации геотермических параметров, показано, что прошлые изменения температуры поверхности Земли вносят существенные искажения в распределение температуры под поверхностью Земли, а, следовательно, в измеренный тепловой поток. Сделан вывод о том, что Уральский минимум теплового потока в какой-то мере усилен искажающим влиянием палеоклимата, хотя одним только влиянием палеоклимата его объяснить нельзя. К сожалению, до сих пор остается невыясненным вопрос о роли гидрогеологического фактора в формировании аномалий теплового потока. Получены многочисленные новые оценки теплогенерации горных пород в изучаемом регионе. Предложены различные варианты численных моделей переноса тепла, составленных вдоль профилей ГСЗ (Хачай, Дружинин, 1998; Kukkonen et al., 1997; Golovanova et al., 2000a; и др.). Зачастую опубликованные модели разных авторов не согласуются друг с другом. Однако большинство исследователей приходит к мнению, что основной причиной формирования Уральской зоны аномально низких тепловых потоков является пониженная теплогенерация в земной коре.

В работе представлены новые результаты изучения искажающего влияния палеоклимата на формирование Уральской аномалии теплового потока. Это в свою очередь требует обсуждения проблемы реконструкции изменений климата по измерениям температуры в скважинах, создания модели прошлых изменений климата на изучаемой территории, моделирования

влияния палеоклимата на измеренный тепловой поток и введения поправок на влияние палеоклимата в измеренные значения теплового потока.

Методика и основные результаты этих исследований излагаются в последующих разделах.

В **Главе 2. «Реконструкция изменений климата на Южном Урале по геотермическим данным»** представлены новые результаты реконструкции палеоклимата по геотермическим данным на Южном Урале. Полученные результаты позволяют учесть искажения теплового поля Земли, вызванные особенностями климатической истории и уточнить существующие представления о распределении теплового потока на изучаемой территории. Кроме того, они имеют самостоятельное значение для изучения состояния и прогноза изменений климата.

В **разделе 2.1.** описаны методика и результаты восстановления температуры поверхности Земли за последнее тысячелетие.

Известен целый ряд методов реконструкции палеоклимата, использующих корреляционные связи между температурой воздуха и измеряемым параметром (индексом годового прироста растений, содержанием различных изотопов в ледяном керне, споропыльцевым составом торфяников и др.). К прямым методам относятся непосредственные метеонаблюдения. Метеоданные на территории Южного Урала могут дать только ограниченную и во времени, и в пространстве информацию об изменении климата на этой территории. Поэтому желательно реконструировать прошлые изменения климата по другим данным.

Проблеме восстановления палеоклимата из температур по скважинам в последние годы уделялось большое внимание. В нашей стране подобные работы начались в середине девяностых годов. Геотермическая группа Института геологии УНЦ РАН – один из наиболее активных участников исследований в этом направлении. В дальнейшем работы по изучению истории изменений климата на Урале проводились в тесном контакте с геотермической группой Института геофизики УрО РАН (Д.Ю. Демежко и В.А. Щапов). Геологические условия на Урале позволяют оценить его как благоприятный регион для изучения глобальных изменений климата по геотермическим данным.

Основная часть измерений температур горных пород выполнена Институтом геологии Уфимского научного центра РАН (В.Е. Сальников, И.В. Голованова) и Институтом геофизики УрО РАН (Ю.П. Булашевич, В.А. Щапов). Всего при изучении распределения плотности теплового потока на Урале двумя коллективами записано более трех сотен скважинных термограмм. Начиная со второй половины 90-х годов на первое место вышло палеоклиматическое приложение геотермических данных. Оказалось, что требования, предъявляемые к термограммам при палеоклиматическом анализе, должны быть значительно более жесткими, чем при традиционных расчетах плотности теплового потока, а методика анализа по возможности стандартизирована.

В результате предварительного анализа из множества данных скважинных измерений температуры для палеоклиматического анализа сформирована тестовая выборка из 44 термограмм ($50^{\circ}10' - 58^{\circ}22'$ с.ш., $57^{\circ}40' - 62^{\circ}45'$ в.д.). Они удовлетворяют следующим условиям: глубина не менее 700 м, термограммы в наибольшей степени удовлетворяют модели одномерного теплопереноса, т.е. наименее отягощены неклиматическими влияниями – перетоков и фильтрации подземных вод, рельефа, локальных поверхностных аномалий.

Измерения температуры выполнены с шагом 10 или 20 м с точностью до 0,02 °С. Теплопроводность образцов пород, слагающих разрез, изучена детально, кроме самой верхней его части, сложенной выветрелыми породами.

Предусматривалась оценка временных и пространственных изменений температуры поверхности Земли на Урале, начиная с вюрмского оледенения (80-10 тыс.л.н) и заканчивая текущим столетием. В работе приводятся результаты, полученные в Институте геологии УНЦ РАН.

Для реконструкции температурных историй земной поверхности за последнее тысячелетие нами применялся метод инверсии в функциональном пространстве (Shen, Beck, 1991). Достоинством метода является то, что все параметры среды могут быть определены одновременно. Для решения задачи необходимо задать полное априорное описание параметров модели, таких как: температура на поверхности, теплофизические свойства пород, плотность теплового потока на нижней границе, начальное распределение температур в скважине, дисперсию этих свойств. Известно, что чем более точно будет задано начальное приближение и сужены интервалы входных параметров, тем ближе будет результат инверсии к истинному. Поэтому лучшие результаты можно получить по скважинам, для которых имеются достаточно полные и качественные экспериментальные данные о температуре и теплофизических свойствах разреза.

Перед тем, как использовать метод для обработки скважинных данных, мы исследовали его разрешающую способность для реконструкции тех или иных климатических событий в прошлом. Для этого выполнено моделирование влияния палеоклимата за последние 250 тысяч лет на распределение температуры с глубиной (прямая задача). Затем полученное распределение температуры с глубиной используется для инверсии (обратная задача). По результатам численного моделирования были выбраны параметры, которые должны задаваться априорно и необходимая длительность периода, на который производится инверсия.

При обработке данных большое значение имеет выбор значений априорных стандартных отклонений для скважинных температур σ_T и теплопроводностей σ_λ . Климатический сигнал затухает с увеличением глубины. Поэтому для реконструкции более отдаленных событий требуется ужесточать ограничения на качество исходных данных. Для реконструкции малого ледникового периода по результатам моделирования выбраны значения стандартных отклонений $\sigma_T = 0,03$ К и $\sigma_\lambda = 0,5$ Вт/(м К). Большая часть данных удовлетворяет этому условию и позволяет достаточно надежно его

реконструировать. При указанных параметрах средневековый оптимум получается сглаженным. Для его реконструкции рекомендуется ужесточить ограничения на качество исходных данных и использовать следующие значения стандартных отклонений: $\sigma_T = 0,01$ К и $\sigma_\lambda = 0,3$ Вт/(м К).

Изучалось влияние длительности периода, на который производится реконструкция, на результаты инверсии. Скважины глубиной 800 м, в принципе, позволяют реконструировать климат на несколько тысяч лет назад. Результат зависит от выбранной длительности периода инверсии. Наиболее достоверно можно реконструировать события, произошедшие примерно за последнюю половину или третью часть выбранного периода. Это происходит потому, в что в более отдаленной части сказывается влияние задаваемых при решении ограничений на температуру поверхности Земли. Например, инверсия до 1000 лет назад, как это часто делалось в предыдущих работах, позволяет более или менее надежно реконструировать события за последние 300-500 лет, т.е. малый ледниковый период. Для того, чтобы надежно реконструировать максимум средневекового теплого периода, надо проводить инверсию на период не менее 3000 лет назад.

Результаты инверсии за последнее тысячелетие показывают, что малому ледниковому периоду на Урале предшествовал средневековый теплый период, температуры в максимуме которого (~1200 г. н.э.) примерно соответствовали современным. Кульминация малого ледникового периода наступила приблизительно в 1700 – 1750 г. н.э. Температура поверхности в это время была на 1,2–3 К ниже современной. Различия в оценках обусловлены влиянием факторов неклиматической природы и региональной изменчивостью палеотемператур. Существенных различий в изменениях в южной и северной частях региона выявить не удалось. Результаты геотермических реконструкций палеоклимата довольно хорошо согласуются с данными других методов (метеоданные и др.).

Эта же выборка данных обрабатывалась с применением других алгоритмов инверсии (Д.Ю. Демежко). При отборе скважинных данных для инверсии для оценки их качества требуется большое количество дополнительной информации, которая зачастую недоступна. Нам представляется, что перед применением любого метода инверсии скважинные данные должны быть подвергнуты жесткому отбору. При отборе качественных исходных данных результаты, полученные различными методами, оказываются близки.

В разделе 2.2. приведены результаты реконструкции вюрм-голоценового потепления на Южном Урале.

На Урале оценки амплитуды вюрм-голоценового потепления по геотермическим данным получены усилиями двух научных коллективов: Института геологии УНЦ РАН и Института геофизики УрО РАН. Первая оценка была получена в Институте геологии УНЦ РАН по скважине Ильменская-1 (Golovanova et al., 2000b), расположенной в Ильменском заповеднике и достигающей глубины 2000 м. Оценка амплитуды потепления по этой скважине составляет примерно 8,3 К.

Практически одновременно с этим в Институте геофизики УрО РАН (Демежко, 2001) выполнена реконструкция температурной истории, охватывающей период более 10 тыс. лет по данным из Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Использована термограмма до глубины 4 км. Еще несколько температурных историй получено по скважинам глубиной до 2 км. Однако реконструированные амплитуды потепления существенно занижены, а датировки уменьшены в несколько раз. Поэтому каждая новая возможность реконструкции температуры поверхности Земли по данным из глубоких скважин, содержащим более полную информацию, имеет важное значение.

Новые оценки изменений палеоклимата выполнены нами по данным из глубокой параметрической скважины Леузинская-1, расположенной в башкирской части Юрюзано-Сылвенской впадины Предуральского прогиба. Использована термограмма, записанная в апреле 2002 года до глубины 4512 м. Перед измерением температуры скважина находилась в консервации больше месяца, после окончания бурения прошло больше 3 месяцев. Изученная часть разреза включает отложения палеозоя до глубины 3818 м и верхнего рифея.

Для реконструкции изменений климата применялся метод инверсии в функциональном пространстве (FSI) (Shen, Beck, 1991). Качество исходных геотермических данных по скважине позволяет использовать при инверсии значения стандартных отклонений для температуры $\sigma_T = 0,05$ К. Тепловые свойства горных пород были приняты по данным изучения соседних скважин, расположенных в этой же структурно-тектонической зоне, с учетом конкретного разреза скважины. Для теплопроводности принималось $\sigma_\lambda = 0,3$ Вт/(м К). По результатам вычислений амплитуда вюрм-голоценового потепления оценивается примерно в 11 °С. Приведенный результат является всего третьей по счету оценкой по геотермическим данным на Урале.

Еще один возможный подход к оценке прошлых изменений климата – совместная инверсия данных по группам скважин. Подход основан на предположении, что в регионе с одинаковой климатической историей совместная инверсия подавляет случайный “термический шум” и выявляет общий климатический сигнал. Для скважин Леузинская-1 и Ильменская-1 выполнена совместная инверсия в функциональном пространстве. Амплитуда вюрм-голоценового потепления также составляет 10 °С. Полученные результаты позволяют более обосновано оценить историю изменения климата на Южном Урале.

Раздел 2.3. Выбор модели изменений палеоклимата Урала по геотермическим данным.

На Урале при определении теплового потока поправки на климат прошлых эпох не вводились из-за отсутствия точных данных о длительности климатических эпох и амплитуде изменения температур за это время. За последнее время сведения об изменении температуры поверхности Земли в изучаемом регионе существенно пополнились.

В современном геотемпературном поле наиболее заметный след оставили два климатических эпизода прошлого – вюрмское оледенение 80–10 тысяч лет

назад, и малый ледниковый период, 600–150 лет назад (Демежко, 2001). Причем влияние первого распространяется до первых километров, второго – до нескольких сотен метров. Поэтому без значимой погрешности для решения задачи возможно использование упрощенной климатической модели, включающей лишь эти два палеоклиматических эпизода. Однако в самой верхней части разреза, на глубинах до 200 м, аномальные градиенты, рассчитанные по упрощенной и более детальной палеоклиматическим моделям существенно различаются. В то же время, среди опубликованных данных по тепловому потоку Урала (Голованова, 2005) использовалось довольно много скважин, в которых при определении теплового потока включен самый верхний интервал. Поэтому в данной работе предлагается использовать сведения об изменении средней глобальной температуры воздуха в северном полушарии в отклонениях от современной температуры, приведенные в монографии (Демежко, 2001) как компиляция литературных данных, с учетом регионального коэффициента, учитывающего возрастание колебаний температуры с ростом широты местности (Пименов и др., 1996).

Как правило, амплитуда климатических вариаций температур увеличивается с широтой. В первом приближении для получения амплитуды региональной палеотемпературы можно умножить среднеглобальное отклонение температуры от современной $\Delta T(t)$ на коэффициент K , зависящий от широты местности φ . Мы использовали зависимость, рекомендованную в работе (Пименов и др., 1996):

$$K(\varphi) = 1,5 + (\varphi - 40) / 30 .$$

Зависимость от долготы связана с осеасимметричным характером вюрм-голоценового потепления. Согласно палинологическим оценкам, подтверждаемым и данными геотермии, центр потепления находился в Северной Атлантике. Изолинии потепления снижаются примерно на 5° широты при удалении на 20° долготы на запад от уральского меридиана (Demezhko et al., 2007). Результаты реконструкции палеоклимата по данным из глубоких уральских скважин хорошо согласуются с этой моделью, подтверждая тем самым ее справедливость. Влияние долготы в нашей модели учитывается введением так называемой эквивалентной широты, которая включает влияние одновременно широты и долготы местности:

$$\varphi_{\text{экв}} = \varphi - (\lambda - 60) \cdot 0,25 ,$$

где φ - широта, λ - долгота.

Отметим, что позднее были предложены также несколько другие зависимости для описания регионального распределения палеоклиматического сигнала (Demezhko et al., 2007), однако для изучаемой территории результат практически не изменяется.

Для того чтобы получить палеотемпературу следует прибавить амплитуду региональной палеотемпературы к современной региональной среднегодовой температуре T_c :

$$T(t) = T_c + K\Delta T(t) .$$

С учетом эквивалентной широты и зависимостей, предложенных в работе (Пименов и др., 1996), рассчитаны значения регионального коэффициента и начальной температуры поверхности Земли. Максимальное значение K составляет 2,28 для участка Устремский с координатами 64°08' с.ш., 62°25' в.д., минимальное – 1,79 для района скважины Тастыбулак-45 (48°10' с.ш., 58°25' в.д.). Для скважин, расположенных в районе г. Магнитогорска (53°30' с.ш., 59°05' в.д.), $K = 1,96$. Полученные при таком подходе амплитуды вюрмголюценового потепления хорошо согласуются с данными об их широтном изменении вдоль уральского меридиана 60° в.д. (Демежко, 2001). Амплитуды похолодания и потепления малого ледникового периода также хорошо согласуются с оценками, выполненными по геотермическим данным.

Однако известно, что при моделировании влияния палеоклимата на распределение теплового поля в скважине существенное значение имеет начальная температура поверхности Земли T_0 . При расчетах для временного интервала 200–300 тыс. лет эта начальная температура принимается равной усредненной за последний 1 млн. лет температуре и рассчитывается для района конкретной скважины с учетом регионального коэффициента (Пименов и др., 1996). В нашем случае начальные значения температуры T_0 ниже современных региональных значений среднегодовой температуры T_c . Разница между ними изменяется от $-4,69$ °С для участка Устремский до $-3,48$ °С в районе скважины Тастыбулак-45. В районе г. Магнитогорска эта разница составляет $-3,90$ °С.

Глава 3. Методика оценки искажающего влияния палеоклимата на измеренный тепловой поток.

Распределение геотермических градиентов и тепловых потоков зависит от многих факторов, изменяющих условия теплопереноса в земной коре и теплообмена на ее поверхности в пункте измерения. Поэтому для получения истинной величины глубинного теплового потока влияние этих факторов надо исключить, введя соответствующие поправки.

В.Е. Сальниковым было показано, что в районе исследований влияние процессов денудации, осадконакопления и неотектонических движений соизмеримо с погрешностью измерений, а заметное воздействие рельефа ограничивается первыми 150-200 м. На западе Башкирии мощность зоны активного водообмена составляет 100-200 м, а замедленного – 300-400м. На Южном Урале мощность зоны интенсивных термоаномалий, связанных с инфильтрацией вод достигает 160-200м. В более глубоких горизонтах вода, как правило, циркулирует по локальным трещинным зонам. На больших глубинах поле практически стационарно.

Первая попытка внести поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток на Урале была сделана в работе (Kukkonen et al., 1997). При этом подход был упрощенный, во внимание принималась только максимальная глубина определения теплового потока, в то время как искажения, вызванные влиянием палеоклимата, распределены по глубине неравномерно. Более корректно поправки вводились в Институте геологии УНЦ РАН для ограниченного числа скважин, расположенных вдоль профиля УРСЕЙС-95 для

моделирования глубинного теплового режима (Голованова и др., 2000а; Голованова, 2001 и др.). Независимо, для отдельных скважин аналогичные поправки вводились и в Институте геофизики УрО РАН (Д.Ю. Демежко, В.А. Щапов). Несмотря на то, что в настоящее время большинство исследователей признает факт искажения измеренного теплового потока влиянием палеоклимата, до сих пор не существует единой методики учета этих искажений.

Для оценки влияния палеоклимата необходимы следующие сведения:

- данные о региональном палеоклимате;
- начальная температура поверхности и период, на который проводится моделирование;
- температуропроводность пород разреза.

Для введения климатической поправки в измеренный геотермический градиент и тепловой поток с учетом полученных в предыдущем разделе значений регионального коэффициента и начальной температуры поверхности Земли выполнено численное моделирование искажений теплового потока и геотермического градиента для различных зон изучаемого региона.

Решалось одномерное нестационарное уравнение теплопроводности для неоднородной среды с границами $z = 0$ и $z = L$:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0 \quad (3.1)$$

с начальным условием:

$$T(z,0) = T_0(z), \quad (3.2)$$

и граничными условиями:

$$T(0,t) = T_1(t), \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial T(L,t)}{\partial z} = G_0, \quad (3.4)$$

где $T=T(z,t)$ – температура земной коры, ρc – теплоемкость единицы объема среды, $\lambda=\lambda(z)$ – коэффициент теплопроводности.

Задача решалась методом конечных разностей. Программа для расчетов составлена Е.А.Смородовым. Применявшаяся методика позволяет учесть данные о распределении тепловых свойств пород по разрезам скважин. Использовались данные о распределении тепловых свойств по разрезам конкретных скважин, полученные в результате измерений, выполненных в Институте геологии УНЦ РАН при оценке плотности теплового потока. К сожалению, для некоторых скважин имеющиеся сведения о теплофизических свойствах разреза недостаточны. В таком случае для расчета искажений градиента температуры предлагается использовать типичное для кристаллических пород значение коэффициента температуропроводности $a = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В этом случае результаты численного и аналитического моделирования совпадают.

Методика получения данных о региональном палеоклимате (температуре поверхности Земли) описана в предыдущем разделе. Изменение температуры

земной поверхности задавалось ступенчатой функцией. Шаг ступени по времени составлял 500 лет для интервала от 250000 до 10000 лет назад, 50 лет для интервала от 10000 до 1000 лет назад, и 5 лет для последнего тысячелетия. Шаг расчета по глубине 10 м, шаг по времени 0,5 года.

Начальный профиль температуры в скважине рассчитывался по тепловому потоку, теплопроводности пород разреза и начальной температуре поверхности. Начальная температура поверхности принималась равной усредненной за последний миллион лет температуре.

Расчеты показали, что наиболее значительные отклонения вызваны потеплением примерно на 10 градусов, произошедшим в конце ледникового периода около 10 тыс. лет назад. Тепловое поле массива горных пород может быть значительно искажено до глубины 2–2,5 км, однако искажения, вызванные влиянием палеоклимата, затухают только на глубинах 6–7 км. Похолодание малого ледникового периода (150–650 лет назад) оказывает решающее влияние на распределение градиента и теплового потока в верхних 400–500 м. В целом наиболее значительные искажения наблюдаются на глубинах 0–1,5 км. В результате геотермический градиент, а следовательно, и тепловой поток в этом интервале оказываются пониженными.

Определение теплового потока на изучаемой территории проводилось классическим раздельным способом. При этом средневзвешенная величина теплового потока по скважине определялась по его поинтервальным значениям. Влияние палеоклимата сказывается не только, и не столько в самой глубокой точке, а во всем интервале определения теплового потока. Оно будет больше, если тепловой поток определялся в неглубокой скважине, или, если интервал определения теплового потока включает верхнюю часть разреза скважины. Если тепловой поток определялся в глубоких скважинах, особенно, если учитывались данные только по нижней части разреза, то поправки могут быть незначительными. Поэтому мы предлагаем рассчитывать средневзвешенную поправку на влияние палеоклимата во всем интервале определения теплового потока исходя из результатов моделирования. Таким образом, полученная зависимость искажений градиента температуры от глубины используется для определения средневзвешенного искажения теплового потока в интервале его определения. Кроме того, результаты моделирования позволяют оценить искажения теплового потока на отдельных интервалах глубин.

Предлагаемый подход может быть использован и в других регионах.

Глава 4. Результаты учета влияния палеоклимата на измеренный тепловой поток.

Описанным способом введены поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток в изучаемом регионе по всем скважинам, в которых выполнены его измерения. За основу принят каталог данных по тепловому потоку Урала (Голованова, 2005). Составлен новый вариант карты теплового потока Урала, исправленного с учетом влияния палеоклимата (рис. 4.1 а, б).

Для проверки объективности существования зоны аномально низких тепловых потоков в работе выполнен статистический анализ данных по

тепловому потоку Урала, измеренных и исправленных на влияние палеоклимата.

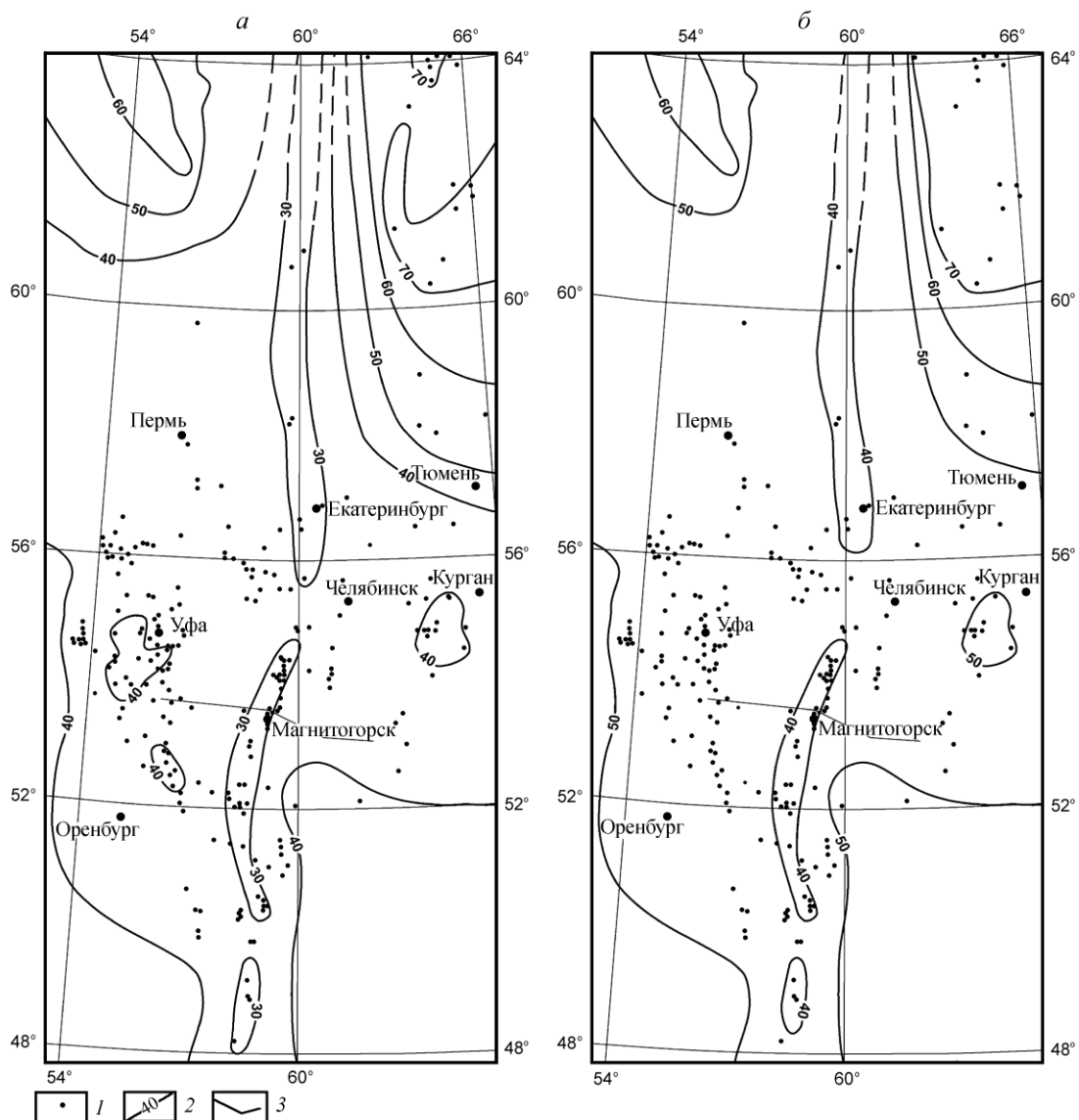


Рис. 4.1. Карта теплового потока Урала: а – измеренные значения теплового потока; б – исправленные на влияние палеоклимата значения теплового потока; 1 — пункты определения теплового потока; 2 — изолинии теплового потока (мВт/м²); 3 — линия профиля УРСЕЙС-95.

При вероятностно-статистическом анализе фактических данных необходимо выполнение ряда требований: однородность анализируемых данных, независимость и равномерность. Требование однородности ряда можно считать выполненным, если рассматриваются однотипные геолого-тектонические области (Смирнов, 1970). Требование независимости (т. е. отсутствие влияния предыдущих экспериментов на последующие) всегда выполняется для фактических измерений теплового потока. А требование равномерности расположения данных в однородных выборках имеет подчиненный характер.

Статистическая проверка соответствия эмпирического ряда стандартным функциям распределения и сравнение выборок проведены по дисперсиям и

средним значениям при совпадении законов распределения (Теория статистики, 2006 и др.).

Оценку соответствия эмпирического ряда теоретическому распределению проведена по критериям Пирсона (χ^2), Романовского и Колмогорова. Сравнение двух выборок – по критерию Стьюдента (t) и по критерию Фишера (F) при соответствующем числе степеней свободы.

Все известные данные по тепловому потоку объединены в три группы с учетом геолого-тектонического строения региона. При этом за основу принят Каталог данных по тепловому потоку Урала, приведенный в монографии (Голованова, 2005).

В первую группу вошли данные по восточной окраине Восточно-Европейской платформы, Предуральскому краевому прогибу, Западно-Уральской внешней зоне складчатости, Центрально-Уральскому поднятию. Во второй группе данные по западной части Тагило-Магнитогорской зоны. В третью группу включены данные по центральной и восточной частям Тагило-Магнитогорской зоны, Восточно-Уральскому поднятию, Восточно-Уральскому прогибу, Зауральскому поднятию.

В таблице приведены обобщенные данные по тепловому потоку, измеренному и исправленному на влияние палеоклимата, по отдельным выделенным зонам. Среднее значение отражает отток тепла из недр, дисперсия – «случайные» факторы.

Таблица

Тепловой поток в отдельных геолого-тектонических областях

Зоны	Тепловой поток	Число определений	Значение теплового потока, мВт/м ²			
			min	max	среднее	стандартное отклонение
I	измеренный	141	26	45	36	4,4
	исправленный	141	30	54	42	5,5
II	измеренный	90	18	32	24	3,3
	исправленный	90	30	44	36	3,5
III	измеренный	63	20	52	34	7,2
	исправленный	63	33	63	46	7,8

Использованная методика введения поправок на влияние палеоклимата в измеренные значения теплового потока описана в предыдущих главах. Здесь еще раз отметим только следующее. Искажения градиента температуры, а, следовательно, и теплового потока, вызванные прошлыми изменениями температуры поверхности Земли, распределены по глубине неравномерно. В целом, наиболее значительные искажения наблюдаются на глубинах до 1 – 1,5 км. В результате геотермический градиент, а, следовательно, и тепловой поток в этом интервале оказываются пониженными. Влияние палеоклимата будет больше, если тепловой поток определялся в неглубокой скважине, или, если

интервал определения теплового потока включает верхнюю часть разреза скважины. Если тепловой поток определялся в глубоких скважинах, особенно, если учитывались данные только по нижней части разреза, то поправки могут быть незначительными.

В западной части территории, в первой зоне, глубина скважин составляет 1300 - 3000 м, несколько скважин имеют глубину около 5000 м. Верхняя граница интервала определения теплового потока здесь находится на глубинах, превышающих, иногда значительно, 500 м. Поэтому поправки на влияние палеоклимата в этой зоне не очень велики, и составляют в среднем $6,7 \text{ мВт/м}^2$. Глубина скважин, по которым проводилось определение теплового потока в Тагило-Магнитогорской зоне и в восточной части изучаемой территории, за редким исключением не превышает 1 км. На этих глубинах искажения, вызванные влиянием палеоклимата наиболее значительны. Поправки на влияние палеоклимата во второй и третьей зонах составляют в среднем 12 мВт/м^2 при средних значениях измеренного теплового потока 24 мВт/м^2 и 34 мВт/м^2 соответственно.

Среди данных, выбранных для статистического анализа, иногда присутствуют наблюдения, сильно отличающиеся от других значений. Если подозрительными является минимальный или максимальный по величине результат, то его называют резко выделяющимся наблюдением или грубой ошибкой. Такие наблюдения могут исказить статистические выводы. С использованием правила Томпсона (Мюллер и др., 1982) из всех выделенных групп были исключены резко выделяющиеся наблюдения.

Вероятностно-статистический анализ величин теплового потока на континентах, выполненный Б.Г. Поляком и Я.Б. Смирновым (Поляк, Смирнов, 1970), показал, что в однотипных геолого-тектонических областях распределение теплового потока обычно близко к нормальному. Для выделенных нами групп данных (как измеренных, так и исправленных значений плотности теплового потока) проведена проверка по критериям соответствия Пирсона, Романовского и Колмогорова и показано, что распределение в каждой группе соответствует нормальному. Расхождение между эмпирическим и теоретическим распределением не существенно при уровнях значимости 0,05 и 0,01 и соответствующем числе степеней свободы в каждой группе.

Следующей задачей статистического анализа, решаемой после определения основных (выборочных) характеристик и анализа одной выборки, является совместный анализ нескольких выборок. Обычно для этого проводят проверку статистических гипотез о принадлежности обеих выборок одной генеральной совокупности или о равенстве средних.

Тот факт, что распределение во всех группах данных имеет один и тот же характер позволяет сравнивать выборки по отдельным группам между собой. Нами проверялась гипотеза о равенстве средних в двух выборках с помощью критерия Стьюдента (t -критерий). Для проверки гипотезы о равенстве дисперсий в двух выборках использовался критерий Фишера.

Сравнение выборок измеренных значений теплового потока по всем трем выделенным группам показало, что с вероятностью ошибки 0,05 можно утверждать, что западная часть Тагило-Магнитогорской зоны отличается от окружающих территорий по критерию Стьюдента. При этом первая и третья зона не отличаются друг от друга по средним значениям, несмотря на различия в геолого-тектоническом строении. После внесения поправок в измеренный тепловой поток все три зоны отличаются друг от друга по t -критерию. При сравнении дисперсий по критерию Фишера различия во всех случаях оказались статистически значимыми.

Таким образом, вероятностно-статистический анализ показал, что западная часть Тагило-Магнитогорской зоны выделяется по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости 0,05 как по измеренным, так и по исправленным на влияние палеоклимата значениям теплового потока.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что зона аномально низких тепловых потоков в Тагило-Магнитогорской зоне четко выявляется и при рассмотрении измеренных значений теплового потока, и при внесении поправок на влияние палеоклимата. Следовательно, возникновение этой аномалии невозможно объяснить только влиянием палеоклимата. Скорее всего, аномалия теплового потока связана с особенностями глубинного строения и геологического развития региона, и основной ее причиной является низкая теплогенерация в Тагило-Магнитогорской зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. По геотермическим данным выполнены новые реконструкции температурных историй поверхности Земли на Южном Урале за последнее тысячелетие. По данным из глубокой скважины Леузинская-1 выполнена новая оценка амплитуды вюрм-голоценового потепления. Результаты инверсии за последнее тысячелетие показывают, что малому ледниковому периоду на Урале предшествовал средневековый теплый период, температуры в максимуме которого (~1200 г. н.э.) примерно соответствовали современным. Кульминация малого ледникового периода наступила приблизительно в 1700 – 1750 г. н.э. Температура поверхности в это время была на 1,2 – 3 К ниже современной. Амплитуда вюрм-голоценового потепления по данным из скважины Леузинская-1 оценивается примерно в 11 °С. Приведенный результат является всего третьей по счету оценкой по геотермическим данным на Урале после полученных ранее по скважинам Ильменская 1 (термограмма до 2000 м) и СГ-4 (термограмма до 4000 м).

2. Предложена модель изменений климата в прошлом, позволяющая ввести палеоклиматические поправки в измеренные значения теплового потока на Урале.

3. Выработана единая методика введения палеоклиматических поправок, учитывающая зависимость палеоклиматического сигнала от широты и долготы местности.

4. С учетом результатов моделирования введены поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток по скважинам. Результаты свидетельствуют о том, что искажающее влияние палеоклимата сильнее выражено в неглубоких скважинах, расположенных преимущественно в Тагило-Магнитогорской зоне, пространственно совпадающей с зоной аномально низких тепловых потоков. Однако зона аномально низких тепловых потоков в Магнитогорской зоне четко выявляется и при внесении поправок, то есть возникновение этой аномалии невозможно объяснить только влиянием палеоклимата. Вероятно, аномалия теплового потока связана с особенностями глубинного строения и геологического развития региона, и основная ее причина – низкая теплогенерация в Тагило-Магнитогорской зоне.

5. Впервые построен новый вариант карты теплового потока Урала, исправленного на влияние палеоклимата.

6. Выполнен статистический анализ данных по тепловому потоку Урала, измеренных и исправленных на влияние палеоклимата.

7. Показано, что поправки могут быть весьма значительными и достигать 50% от измеренных классическим способом значений теплового потока. Это в свою очередь ставит вопрос о необходимости пересмотра прежних результатов измерений теплового потока в различных регионах и уточнения выводов, сделанных на основе их анализа.

8. Полученные материалы позволяют повысить надежность интерпретации геолого-геофизических материалов при изучении строения глубоких горизонтов и могут служить основой для составления геодинамических моделей Урала.

Публикации по теме диссертации

Публикации в рецензируемых журналах; монографии и главы в монографиях:

1. Голованова И.В., Пучков В.Н., **Сальманова Р.Ю.**, Демежко Д.Ю. Новый вариант карты теплового потока Урала, построенный с учетом влияния палеоклимата. // Доклады Академии наук. 2008. Т. 422, № 3. С. 394-397

2. Голованова И.В., **Сальманова Р.Ю.**, Демежко Д.Ю. О роли теплового климатического сигнала в верхней части земной коры в формировании аномалий теплового потока на Урале // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2009, № 2. С 46-52.

Статьи в научных сборниках и периодических научных изданиях:

3. Голованова И.В., **Валиева Р.Ю.** Новые оценки амплитуды вюрм-голоценового потепления на Южном Урале по геотермическим данным / Геологический сборник №5: Информационные материалы ИГ УНЦ РАН, Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 2006. С. 201-203.

4. Голованова И.В., **Сальманова Р.Ю.** Анализ данных по тепловому потоку Урала. // Геологический сборник №7. Юбилейный выпуск / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. С. 233-239.

Материалы научных мероприятий, доклады

5. Голованова И.В., **Валиева Р.Ю.** Новые оценки изменений палеоклимата по геотермическим данным / Глубинное строение, геодинамика,

мониторинг, тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Третьи научные чтения памяти Ю.П.Булашевича. Материалы. Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2005. С. 86-87.

6. Голованова И.В., **Валиева Р.Ю.** Учет особенностей климатической истории при картировании глубинного теплового потока Южного Урала. / В сб.: Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана: Материалы VI Межрегиональной научно-практической конференции, г. Уфа, март 2006 года.- Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 2006. с. 96-98.

7. **Валиева Р.Ю.**, Голованова И.В., Демежко Д.Ю. О поправках на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток (на примере Южного Урала). / В сб.: Восьмая Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2007. С. 54-58.

8. Голованова И.В., **Валиева Р.Ю.**, Демежко Д.Ю. Об искажениях измеренного теплового потока, вызванных влиянием палеоклимата (на примере Урала). / В сб.: VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». (Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ), 10 – 16 апреля 2007 года). Доклады. Том 6. М.: ФГУП ГНЦ РФ – ВНИИгеосистем, 2007. С. 343-346.

9. Голованова И.В., **Валиева Р.Ю.**, Демежко Д.Ю. Учет особенностей климатической истории при изучении структуры теплового потока Урала. / Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Четвертые научные чтения памяти Ю.П.Булашевича. Мат-лы., Екатеринбург, 2007. С. 136-137.

10. Голованова И.В., **Сальманова Р.Ю.**, Демежко Д.Ю. О выборе модели палеоклимата для внесения поправок в измеренный тепловой поток на Урале./ Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов. Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию Института геофизики УрО РАН. Екатеринбург, 2008. С. 54-58.

11. **Сальманова Р.Ю.** Статистический анализ данных по тепловому потоку Урала. / В сб.: Современные проблемы геофизики. Девятая Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник материалов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С 166-167.

12. Голованова И.В., **Сальманова Р.Ю.** Вероятностно-статистический анализ величин теплового потока на Урале. Тепловое поле Земли и методы его изучения: Сб. науч. трудов. – М.: РИО РГГРУ, 2008. С. 49-53.

Тезисы:

13. Golovanova I.V., Demezhko D.Yu., **Valiyeva R.Yu.** Estimation of the palaeoclimatic effect on measured heat flow density data in the Southern Urals. / In: Heat Flow and the Structure of the Lithosphere. Sixth International Meeting. Castle Farm Bykov, Czech Republic, June 5 - 10, 2006. Abstracts. P. 39.

14. Golovanova I.V., **Valiyeva R.Yu.** New reconstruction of Late Pleistocene – Holocene climatic changes from deep borehole geothermal data in the South Urals. / In: Heat Flow and the Structure of the Lithosphere. Sixth International Meeting. Castle Farm Bykov, Czech Republic, June 5 - 10, 2006. Abstracts. P. 40.

15. **Валиева Р.Ю.**, Голованова И.В. Новые оценки изменений палеоклимата на Урале по геотермическим данным. / В сб.: Девятые Геофизические чтения им. В.В. Федынского (01 – 03 марта 2007 г., Москва). Тезисы докладов. М., 2007. С. 45.

Подписано к печати _____
Тираж 100 Заказ 155
Отпечатано в отделе оперативной печати
физического факультета МГУ