

ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



*На правах рукописи*

Крутенко Даниил Сергеевич

ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ПРИРОДА ЕГО  
АНОМАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ (ЗАПАД ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.9 – Геофизика

Томск – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Научный руководитель:**

**Исаев Валерий Иванович**

доктор геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

**Колмаков Юрий Викторович**

доктор геолого-минералогических наук

**Официальные оппоненты:**

**Демежко Дмитрий Юрьевич**

доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории  
геодинамики Института геофизики имени  
Ю.П. Булашевича Уральского отделения  
Российской академии наук

**Девятов Владимир Павлович**

доктор геолого-минералогических наук,  
старший эксперт Новосибирского филиала  
федерального государственного бюджетного  
учреждения «Всероссийский научно-  
исследовательский геологический нефтяной  
институт»

Защита состоится «20» сентября 2024 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.27 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634028, г. Томск, пр. Ленина, 2, строен. 5, корпус 20, ауд. 504



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте [dis.tpu.ru](http://dis.tpu.ru) при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «\_\_» июля 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета ДС.ТПУ.27  
К.Г.-М.Н.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Osipova', located to the right of the secretary's name.

Осипова Е.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность темы исследования*

В главенствующей осадочно-миграционной теории геотермический режим недр рассматривается в качестве основного фактора реализации нефтегенерационного потенциала. В связи с этим представляет интерес развивать геотермию как метод разведочной геофизики для прогнозирования и оценки перспектив нефтегазоносности. Задачи прогноза сводятся к выявлению локальных аномалий теплового поля и установлению их связи со скоплениями углеводородов. Этот метод может хорошо показать себя для доразведки территорий с развитой инфраструктурой и большим фондом скважин, так как основан на моделировании и анализе имеющейся информации и не требует проведение дополнительных полевых работ.

В настоящее время потенциал геотермического метода не реализован в полной мере. Это связано с тем, что фундаментальный вопрос о природе вариаций глубинного теплового потока – ключевого геодинамического параметра теплового поля, остается без полного и обоснованного ответа. До сих пор нет точного набора геологических факторов, влияющих на его распределение, а также количественно не оценена степень влияния этих факторов. Таким образом, на повестку дня ставится необходимость расширения теоретических основ геотермии путем выявления факторов, влияющих на поле теплового потока.

Актуальность решения данной проблемы именно для Западно-Сибирского осадочного бассейна обусловлена многообразием геологических, тектонических и геотермических условий, что позволит перенести сделанные выводы и обобщения на другие нефтегазоносные бассейны, а также перспективностью применения полученных результатов при поисково-разведочных работах в самом Западно-Сибирском бассейне.

*Объектом диссертационного исследования* является юго-восточная часть Западно-Сибирской плиты. *Предмет исследования* – поле глубинного теплового потока этой территории.

### *Степень разработанности темы исследования*

Дискуссионность природы вариаций теплового потока обусловлена существованием большого количества нестационарных факторов, оказывающих влияние на тепловое поле Земли. Несмотря на это, уже установлено много важных закономерностей: связь

теплового потока с возрастом тектоно-магматической активизации (Поляк, Смирнов, 1968), примерное равенство тепловых потоков на континентах и океанах (Lee, Uyeda, 1965), наличие аномально высоких тепловых потоков в зонах активных рифтов (Langseth, Von Herzen, 1971).

Изучению теплового поля Западной Сибири посвящены труды А.Р. Курчикова, А.Д. Дучкова, А.Г. Череманского, М.Д. Хуторского, А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, Б.П. Ставицкого, А.А. Смыслова, В.И. Ермакова, В.А. Скоробогатова, В.И. Исаева, Г.А. Лобовой. Многие аномальные участки теплового потока известны давно, однако причины их возникновения до сих пор не установлены. В настоящее время вариации связывают с возрастом последней тектоно-магматической активизации, наличием интрузий и дизъюнктивных нарушений, движением подземных флюидов, влиянием вариаций палеоклимата или изменением генерации радиогенного тепла.

Накопленный томскими геотермиками опыт моделирования позволит детально изучить структуру теплового поля Западно-Сибирской плиты и выявить причины возникновения его неоднородностей.

**Цель исследования** – выявление связи теплового потока с геологическим строением и нефтегазоносностью юго-восточной части Западно-Сибирской плиты.

**В диссертационной работе решались следующие научные задачи:**

- А. Моделирование и построение схематической карты глубинного теплового потока из основания осадочного разреза юго-восточной части Западно-Сибирской плиты.
- Б. Определение набора геологических факторов, потенциально влияющих на распределение теплового потока исследуемой территории, и оценка степени их влияния.
- В. Выявление связи распределения плотности глубинного теплового потока с нефтегазоносностью исследуемой территории.

**Научная новизна работы**

- А. Впервые для территории западной части Томской области на основании моделирования теплового поля в разрезах 433 глубоких скважин построена схематическая карта плотности теплового потока из основания осадочного чехла, характеризующаяся погрешностью  $\pm 1,5$  мВт/м<sup>2</sup>.

Б. Выявлены причины неоднородности теплового потока юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, главной из которых является возраст образований тектоно-магматических активизаций в истории развития доюрского фундамента.

В. Установлено, что распределение органического вещества в волжских отложениях коррелирует с региональными и локальными изменениями поля плотности теплового потока.

Г. Выявлено, что величина теплового потока влияет на фазовый состав углеводородных флюидов, формирующих залежи на месторождениях.

### ***Теоретическая и практическая значимость работы***

Согласно программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3684-р, отмечается важность изучения геодинамики осадочных бассейнов и формирования месторождений углеводородов, а также новых эффективных, экологически безопасных технологий поиска и разведки. И в этом особая роль отводится геофизическим исследованиям. Все большую значимость приобретают исследования глубинных процессов и физических полей Земли. Получать принципиально новые научные знания предлагается путем анализа геолого-геофизических данных с применением математического моделирования.

Предмет и методы настоящего исследования полностью соответствуют обозначенным направлениям развития науки РФ. Тепловое поле Земли остается одним из наименее изученных. Данная работа иллюстрирует, что с помощью математического моделирования и анализа уже имеющейся геолого-геофизической информации удастся рассчитывать и достаточно детально картировать распределение глубинного теплового потока.

Для территории юго-востока Западно-Сибирской плиты подтвердилось существование фундаментальной зависимости плотности теплового потока от возраста образований различных тектоно-магматических активизаций. Результаты исследования позволяют утверждать, что именно этот фактор является основной причиной вариаций теплового потока как на глобальном уровне, так и на довольно ограниченной территории.

Найденные закономерности распределения органического вещества волжских отложений, а также размещения месторождений углеводородов с различным фазовым

составом флюида с плотностью теплового потока позволяют приблизиться к разработке геотермических критериев прогнозирования залежей и типа флюида.

Особую значимость имеет построенная схематическая карта плотности теплового потока, которая может быть применена для изучения теплового поля, оценки перспектив территории в отношении геотермальной энергетики или в качестве входных параметров для бассейнового моделирования.

### ***Методология и методы исследования***

Определение величины плотности теплового потока из основания осадочного разреза производилось по методике В.И. Исаева (Исаев, Волкова, Ним, 1995; Исаев, 2002), основанной на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей, и было реализовано с помощью комплекса одномерного бассейнового моделирования *Teplodialog*.

Построение схематической карты теплового потока выполнялось с использованием программы *Surfer*, задача интерполяции решалась геостатистическим методом *Kriging*. Расчет цифровых моделей плотности разрывных нарушений, радиогенной теплогенерации и теплопроводности пород поверхности доюрского основания производился с помощью программного кода, написанного автором на языке *Python* и реализованного посредством функций модуля *OpenCV*. Он основан на применении одного из инструментов машинного зрения – выделении контуров объектов.

Корреляционно-регрессионный и однофакторный дисперсионный методы анализа осуществлялись с помощью программного обеспечения *Statistica* и *Excel*.

Диссертационное исследование выполнялось с позиции осадочно-миграционной теории нефтегазообразования.

### ***Положения, выносимые на защиту***

***Первое положение.*** На основе моделирования плотности теплового потока в 433 глубоких скважинах по авторской методике В.И. Исаева построена схематическая карта теплового потока юго-востока Западно-Сибирской плиты, характеризующаяся ранее недостижимой погрешностью  $\pm 1,5$  мВт/м<sup>2</sup>. Высокая детальность новой карты позволила установить связь аномальных зон теплового поля со структурно-вещественной неоднородностью доюрского основания.

**Второе положение.** Главным фактором, влияющим на величину теплового потока в отдельных блоках, является возраст их тектоно-магматической активизации: по мере его омоложения установлено закономерное усиление теплового потока. Все основные аномалии связаны с зонами триасовых рифтов и их последующим тектоническим подновлением. Положительные аномалии тяготеют к областям проявления интенсивного рифтогенного магматизма и повышенной плотности тектонических нарушений коньяк-кайнозойского возраста. Сами же рифтовые долины, заполненные мощной толщей терригенно-вулканогенных пород, выделяются преимущественно пониженными значениями теплового потока. Локальные слабоамплитудные аномалии внутри одновозрастных блоков объясняются изменением теплофизических свойств пород.

**Третье положение.** Выявлена тесная пространственная связь положительных аномалий теплового потока с участками концентрирования органического вещества в волжских отложениях. Установлены закономерности локализации месторождений углеводородов с различным типом флюида по отношению к зонам с аномальной плотностью теплового потока. К их периферии тяготеют нефтяные и нефтегазоконденсатные месторождения, при этом последним свойственны повышенные градиенты. Газоконденсатным месторождениям соответствуют самые высокие значения и градиенты теплового потока.

### ***Характеристика исходных данных***

Информация о литолого-стратиграфическом разрезе скважин, а также фактические сведения о температурах, измеренных в ходе пластовых испытаний, получены из первичных дел скважин (материалы ТФ ТФГИ СФО). Данные об отражательной способности витринита (ОСВ) переданы А.Н. Фоминым ИНГГ СО РАН. А.Д. Дучковым предоставлены экспериментальные определения теплопроводности пород доюрского основания из базы данных тепловых свойств горных пород Сибирского региона (Дучков и др., 2017). Томскими коллегами-геотермистами Г.А. Лобовой, Т.Е. Луневой и А.С. Герасимовой были переданы в совокупности 87 моделей и определений теплового потока на территории западной части Томской области.

В работе анализируются тектоническая карта фундамента Западно-Сибирской плиты В.С. Суркова (Сурков, Жеро, 1981) и карта вещественного состава пород доюрского основания А.Э. Конторовича (Карта вещественного..., 2001). Сведения о

локализации разрывных нарушений, распределении органического вещества, естественной радиоактивности и кажущихся сопротивлений волжских отложений приняты согласно картам В.А. Конторовича (Конторович, 2002).

### ***Степень достоверности результатов***

Достоверность расчетов плотности теплового потока подтверждается соответствием погрешностей критерию оптимальной невязки. Построенная схематическая карта плотности теплового потока хорошо согласуется с картами изолиний и дискретными схемами предыдущих лет авторства А.Д. Дучкова (Геология и полезные..., 2000; Дучков, Соколова, Аюнов, 2013).

Сделанные выводы о возрасте последней тектоно-магматической активизации как о главенствующем факторе, влияющем на распределение теплового потока, наследуют взгляды, отраженные в работах Б.Г. Поляка и Я.Б. Смирнова (Поляк, Смирнов, 1968), А.Д. Дучкова (Геология и полезные..., 2000), А.Р. Курчикова (Курчиков, 2001) и М.Д. Хуторского (Хуторской, Поляк, 2016).

### ***Апробация результатов исследования***

Основные результаты диссертационного исследования были представлены на Международном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова (Томск, 2018-2024 гг.), на 2-й Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири» (Новосибирск, 2019 г.), на Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург, 2018 г., Пермь, 2019 г., Екатеринбург, 2020 г., Пермь, 2021 г., Пермь, 2023 г.), на Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения» (Новосибирск, 2019, 2021 гг.), на Всероссийской конференции с международным участием «Научные чтения памяти Ю.П. Булашевича (Екатеринбург, 2019 г., 2021 г.), на Международном научном семинаре им Д.Г. Успенского (Пермь, 2019 г., Воронеж, 2020 г.)

Основные положения диссертационной работы изложены в 28 публикациях, в том числе 5 статей в журналах перечня ВАК, из них 3 индексируемых в Scopus и Web of Science, 2 статьи опубликованы в международном журнале, индексируемом в Web of Science.

### ***Структура и объем диссертации***

Диссертация состоит из 5 разделов, введения и заключения, общим объемом 108 страниц, 42 иллюстраций, 6 таблиц, 108 источников литературы и 1 приложения.

### ***Благодарности***

Автор чтит светлую память первого научного руководителя Исаева Валерия Ивановича, которому он обязан зарождением интереса к науке, и благодарит за чуткое руководство и плодотворную совместную работу. Он основал научную группу томских геотермиков и на протяжении многих лет являлся наставником своих учеников и примером настоящего Ученого.

Особую благодарность автор выражает Юрию Викторовичу Колмакову за помощь в трудную минуту, научные консультации и ценные советы, благодаря которым удалось успешно завершить исследование.

Автор благодарит главных научных сотрудников ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН А.Н. Фомина и А.Д. Дучкова и руководителя ТФ ТФГИ СФО О.С. Исаеву за предоставление геолого-геофизической информации.

Автор выражает признательность Г.А. Лобовой и ее ученице А.С. Герасимовой за сотрудничество и внимание к работе, а также Е.В. Гусеву за консультации на некоторых этапах исследования.

Слова благодарности заслуживают коллеги из отделения геологии и в особенности Н.В. Гусева за содействие при подготовке к защите диссертации, П.Н. Максимов, Н.А. Калинина и В.Г. Федоров за моральную поддержку и общение.

Конечно же, автор искренне благодарит свою супругу Крутенко Маргариту Фаритовну за безграничную поддержку, всеобъемлющую помощь и терпение!

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1 Аналитический обзор состояния научной проблемы**

В качестве вероятных факторов, способных оказывать влияние на тепловое поле, выделяют: возраст последней тектоно-магматической активизации; повышенную теплогенерацию в связи с внедрением мантийного вещества в нижние слои земной коры; современную вулканическую активность; наличие интрузий (рассматривается эффект и от внедрения, и от изменения теплофизических параметров); латеральную

неоднородность пород по их теплопроводности и радиогенной теплогенерации; разрывные нарушения; форму тектонических структур и нефтегазоносность. Климатический фактор, рассматриваемый исследователями, учитывается нами при расчете плотности теплового потока.

Анализ распределения плотности теплового потока в пределах разновозрастных тектонических зон показывает его зависимость от возраста складчатости и времени проявления последнего этапа тектоно-магматической активизации (Поляк, Смирнов, 1968) (рис 1).

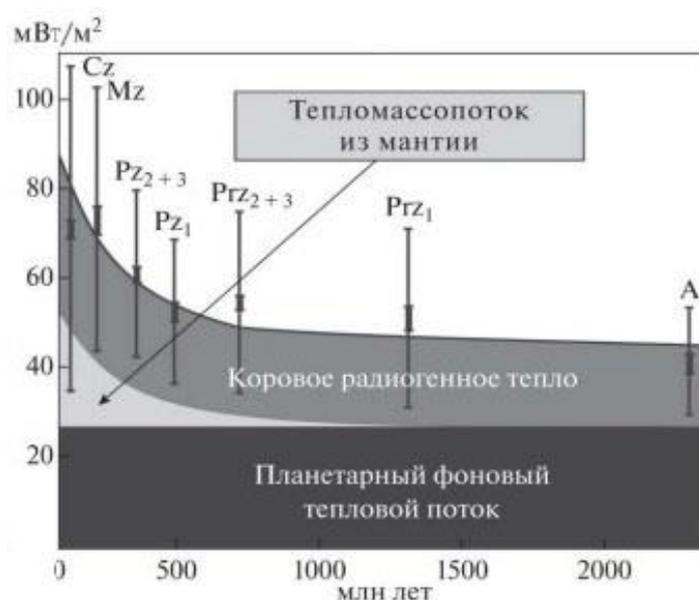


Рисунок 1 – Связь плотности поверхностного теплового потока с возрастом тектоно-магматической активности в континентальной коре (Хуторской, Поляк, 2016).

Высокими тепловыми потоками отличаются зоны современной активизации – Байкальская рифтовая зона (Дучков, Соколова, 1985) и Красноморский рифт (Macgregor, 2020). Ранее существовало достаточно распространенное мнение, что в пределах Западно-Сибирской плиты в долинах раннемезозойских рифтов тоже должен наблюдаться повышенный тепловой поток (Сурков, Жеро, 1981). Сейчас уже известно, что им соответствуют фоновые величины теплового потока или даже отрицательные тепловые аномалии (Курчиков, 1992).

## 2 Геологическая характеристика юго-восточной части Западно-Сибирской плиты

Территория исследования, ограничивающаяся юго-восточной частью Западно-Сибирской плиты, относится к Центрально-Западносибирской складчатой системе

(Сурков, Жеро, 1981), имеющей герцинский возраст. В строении плиты выделяют доюрское основание и платформенный мезозойско-кайнозойский чехол. Доюрское основание имеет гетерогенное строение, состоящее из складчатого фундамента и промежуточного тектонического комплекса, также называемого рифтовым или тафрогенным этажом (Исаев, 2010). Складчатый фундамент сложен глубоко метаморфизованными породами докембрия и палеозоя, прорванными интрузиями различного состава и возраста (Конторович и др., 1975). Промежуточный тектонический комплекс в основном представлен осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями и занимает положение между складчатым фундаментом и мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом.

Структуры складчатого фундамента герцинского возраста и ограничивающие их глубинные региональные разломы имеют северо-северо-западное направление (рис. 2).

Кроме складчатых позднегерцинских структур в состав фундамента вошли Нюрольский (Межовский) и Усть-Тымский срединные массивы. В составе Нюрольского срединного массива выделяют складчатые образования и интрузии кислого и ультраосновного состава байкальского цикла тектогенеза и чехольно-тафрогенные отложения промежуточного комплекса. Усть-Тымский срединный массив представляет собой складчатые образования салаирского цикла тектогенеза, перекрытые отложениями промежуточного комплекса.

На исследуемой территории получили развитие три грабен-рифта триасового возраста, имеющие северо-восточное направление: Колтогорско-Уренгойский, Усть-Тымский и Чузикский.

Тектонические структуры осадочного чехла отражают внутреннюю структуру и рельеф поверхности складчатого фундамента. Унаследованность структурных форм сохраняется до палеогена (Конторович, 2002).

Нефтегазоносность территории исследования связана с доюрским, нижнеюрским, среднеюрским, верхнеюрским и неокомским нефтегазоносными комплексами. Нефтематеринскими свитами для залежей являются нижнеюрская тогурская, среднеюрская тюменская и верхнеюрская баженовская.

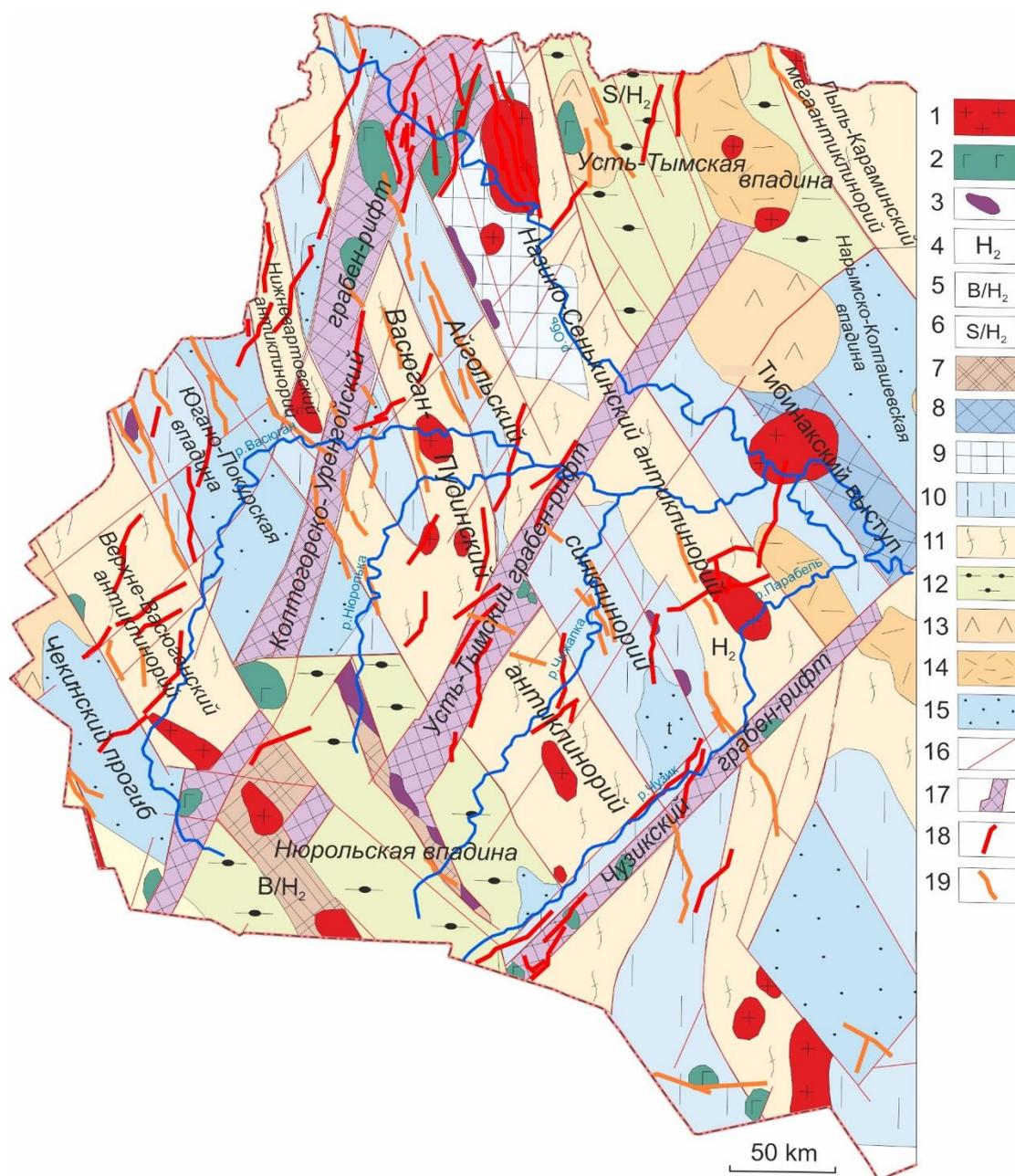


Рисунок 2 – Фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты (Сурков, Жеро, 1981) с добавлением разрывных нарушений по отражающему горизонту  $\Phi_2$  двух типов (Конторович, 2002): интрузивные комплексы: 1 – гранитоиды, 2 – базиты, 3 – ультрабазиты; 4 – области позднегерцинской складчатости; 5–6 области байкальской (5) и салаирской (6) складчатости, переработанные герциным тектогенезом; 7–8 выступы-горсты байкальских (7) и салаирских и каледонских (8) складчатых комплексов; 9 – ядра антиклинориев, сложенные салаирскими и каледонскими складчатыми комплексами; 10 – основания межгорных прогибов; 11 – антиклинорные зоны инверсионного типа (моноциклические); 12 – наложенные впадины и прогибы в пределах срединных и устойчивых массивов; 13 –

раннемезозойские впадины и грабены в пределах каледонской и герцинской складчатостей; 14 – покровы эффузивов разного состава; 15 – межгорные прогибы и внутренние впадины; 16 – разломы, разграничивающие структурно-формационные зоны; 17 – раннемезозойские грабен-рифты; 18–19 разрывные нарушения по отражающему горизонту  $\Phi_2$ : 18 – кайнозойские, 19 – мезозойские.

### **3 Моделирование и картирование теплового потока**

Применяемая для оценки теплового потока авторская методика В.И. Исаева основана на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей (Исаев, 2002).

Решение обратной задачи геотермии – определение плотности теплового потока из основания осадочного разреза, выполнялось для 433 глубоких скважин. Скважины для проведения расчетов выбирались по наличию наблюдаемых температур: термограмм выстоявшихся скважин (метод ОГГ), замеров пластовых температур в присутствии ощутимых притоков жидких флюидов при испытании пластов и/или определений максимальных геотемператур по ОСВ. Литолого-стратиграфический разрез скважины задается согласно материалам ТФ ТФГИ СФО. Каждая толща описывается мощностью, скоростью осадконакопления, теплофизическими параметрами: теплопроводностью, температуропроводностью и плотностью тепловыделения радиоактивных источников в породах. Их величины определены в зависимости от преимущественного породного состава по (Кларк, 1969), теплопроводности пересчитаны по зависимостям от плотности (Богачев, 1987). Температура поверхности осадконакопления задается в виде кусочно-линейной функции «местного» векового хода температур на поверхности Земли (Искоркина, 2017).

Тепловой поток подбирается методом наименьших квадратов таким образом, что разница между расчетными и наблюдаемыми значениями температур в точках на различных глубинах в определенные моменты времени стремится к минимуму.

Основным критерием корректности результатов моделирования выступает *оптимальная* согласованность (невязка) расчетных геотемператур с наблюдаемыми. Невязка оптимальна, когда средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений равна погрешности наблюдений: в нашем случае не превышает  $\pm 2$  °С.

Погрешность определения температур влияет на величину теплового потока на уровне 2–3 %, что в абсолютном выражении не превышает 1,5 мВт/м<sup>2</sup>.

В результате построена схематическая карта плотности теплового потока (рис. 3). На карте наблюдаются следующие аномальные особенности: положительные аномалии, отрицательные аномалии, а также градиентные зоны, окаймляющие крупные аномалии. Аномальные значения рассматриваются на фоне среднего теплового потока всей исследуемой территории – 52 мВт/м<sup>2</sup>. Максимальные значения теплового потока достигают 74 мВт/м<sup>2</sup>, минимальные – 32 мВт/м<sup>2</sup>.

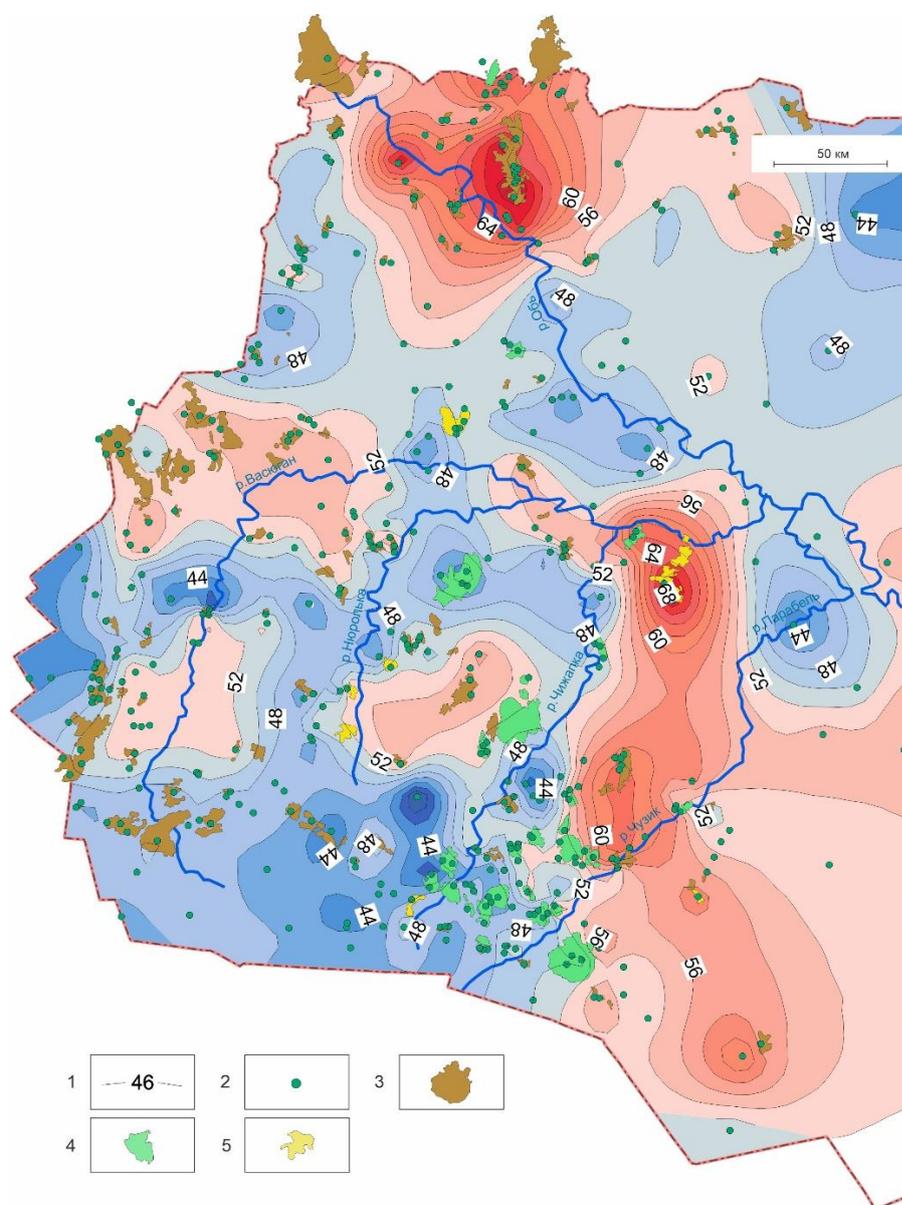


Рисунок 3 – Схематическая карта плотности глубинного теплового потока. 1 – изолинии теплового потока, мВт/м<sup>2</sup>, 2 – скважина палеотемпературного моделирования; 3–5

месторождения углеводородов: 3 – нефтяные, 4 – нефтегазоконденсатные, 5 – газоконденсатные.

На севере, востоке и юго-востоке территории исследования выявлены крупные положительные аномалии, на северо-востоке и юго-западе – крупные отрицательные, небольшие по амплитудам положительные и отрицательные аномалии расположены в центре и на западе.

Сравнение полученной автором схематической карты теплового потока с картопостроениями предыдущих лет показало хорошее совпадение аномальных зон, установленных сейчас и ранее. На опубликованной *дискретной* схеме теплового потока (Дучков, Соколов, Аюнов, 2013), характеризующейся погрешностью порядка  $\pm 10$  мВт/м<sup>2</sup>, также имеются повышенные значения теплового потока 70–90 мВт/м<sup>2</sup> в восточной и юго-восточной частях территории исследования и на севере в районе Александровского свода, в центре которого зафиксировано максимальное значение 90–110 мВт/м<sup>2</sup>. При этом детальность и информативность новой карты значительно выше предыдущих.

*Содержание раздела обосновывает первое защищаемое положение.*

#### **4 Природа вариаций теплового потока**

Набор геологических факторов, которые потенциально могут влиять на распределение теплового потока изучаемой территории, был определен в соответствии с ее геологическим строением и геодинамической обстановкой и включает возраст последней тектоно-магматической активизации, латеральную изменчивость вещественного состава пород доюрского основания и наличие интрузий и разрывных нарушений.

На территории исследования выделяются блоки, различающиеся временем тектоно-магматической активизации. Расположенный в южной части территории Нюрольский срединный массив байкальского цикла тектогенеза (рис. 2) отмечается крупной отрицательной аномалией со средним значением 46 мВт/м<sup>2</sup> (рис. 3). Усть-Тымский срединный массив более молодого салаирского цикла тектогенеза характеризуется значением 50 мВт/м<sup>2</sup>. Простирающиеся в северо-западном направлении герцинские структуры выделяются сонаправленными аномалиями и отмечаются средним тепловым потоком 52 мВт/м<sup>2</sup>.

Вдоль западной границы в северо-восточном направлении простирается группа положительных аномалий (рис. 3). Повышение значений теплового потока в этих зонах приходится на консолидированные борта Колтогорско-Уренгойского рифта. Непосредственно долины рифтов характеризуются пониженными значениями теплового потока  $48\text{--}50\text{ мВт/м}^2$ , что продемонстрировано на примере Колтогорско-Уренгойского рифта на рисунке 4. На этом участке долина рифта выделяется относительно небольшим повышением значений гравитационного поля до  $6\text{ мГал}$  (рис. 4В).

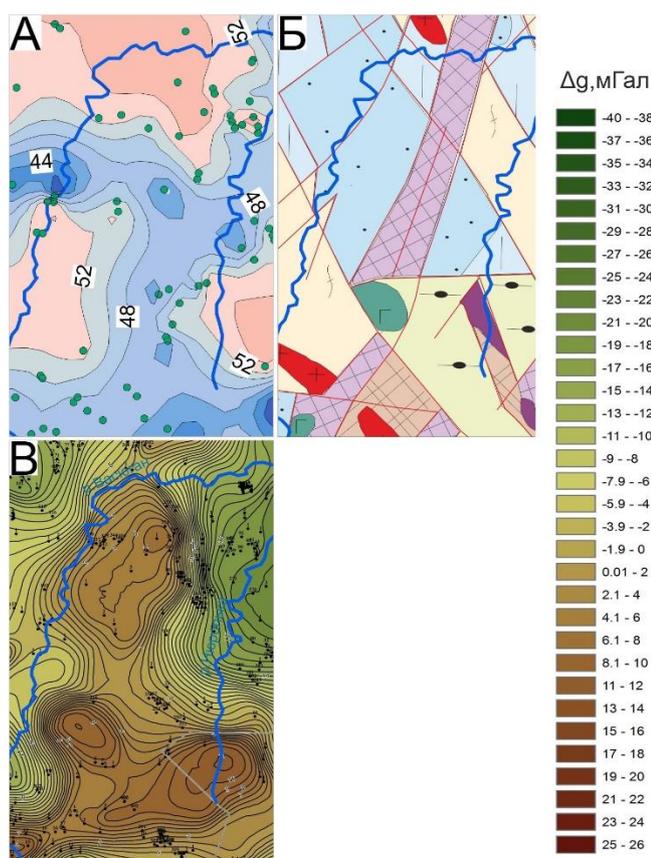


Рисунок 4 – Фрагменты схемы теплового потока (А), тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты (Сурков, Жеро, 1981) (Б), карты гравитационного поля  $\Delta g$  (по материалам ООО НАЦ «Недра», г. Томск) (В) в пределах рифтовой долины Колтогорско-Уренгойского рифта. Условные обозначения см. на рис. 2-3.

Ряд самых высокоамплитудных аномалий теплового потока сосредоточен в зонах распространения интрузивных комплексов в рифтовых долинах и консолидированных бортах рифтов. Вероятно, в этих комплексах, наряду с вулканитами рифтовых долин, проявился наиболее молодой на территории исследования триасовый рифтогенный

магматизм. В северной части карты крупная положительная аномалия, достигающая  $74 \text{ мВт/м}^2$ , сформировалась в районе Александровского свода (рис. 5А).

Западный максимум этой аномалии вызван крупным скоплением интрузий основного состава (рис. 5Б). Подтверждением нахождения в этой части рифтовой долины мощной толщи базитов служит наличие крупных положительных аномалий величиной до 20–23 мГал на карте гравитационного поля (рис 5В).

Криволуцкому гранитоидному массиву (рис. 5Б) соответствует эпицентральная и высокоградиентная часть восточного максимума (рис. 5А). Этот участок выделяется отрицательной аномалией гравитационного поля (рис 5В). В осадочном чехле над интрузивным комплексом сформировалась структура 3 порядка – Криволуцкий вал. Отмечается, что эта структура испытывала воздымание до волжского (титонского) века – момента максимального погружения Западно-Сибирской плиты, во время которого начинает накапливаться баженовская свита (В.А. Конторович, 2002). В пределах этой зоны баженовская свита ( $J_3$ ) залегает непосредственно на образованиях фундамента, а максимальные мощности юрских отложений не превышают 200 метров, тогда как средние значения по территории около 500 м. На структурной карте по отражающему горизонту  $\Phi_2$  этот участок характеризуется наименьшими глубинами до -2000 метров.

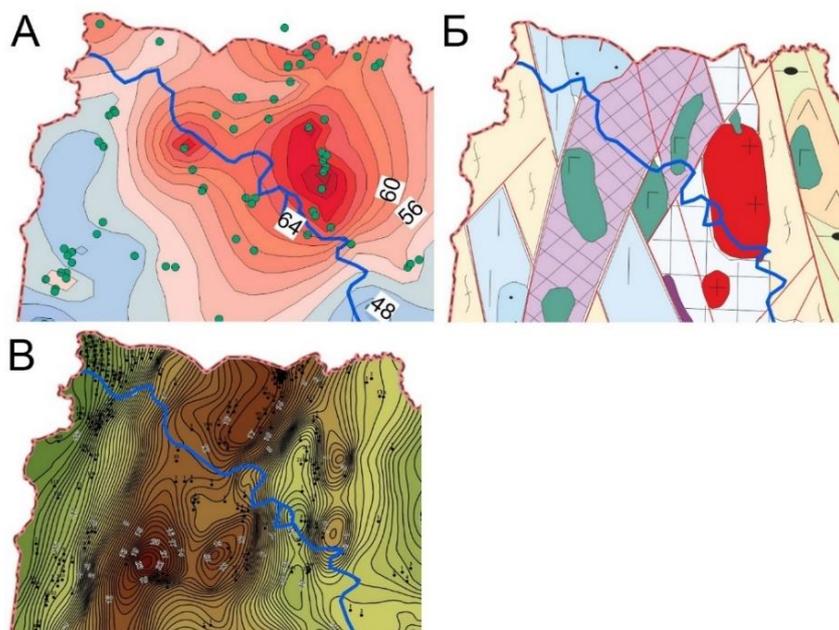


Рисунок 5– Фрагменты схемы теплового потока (А), тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты (Сурков, Жеро, 1981) (Б), карты гравитационного поля  $\Delta g$  (В) в районе Александровского свода. Условные обозначения см. на рис. 2-3.

Положительные аномалии в восточной и юго-восточной частях территории также коррелируют с расположением в этом районе интрузий кислого и основного состава, предположительно, рифтогенного магматизма.

Таким образом, на территории исследования прослеживается зависимость плотности теплового потока от возраста складчатости и времени проявления последнего этапа тектоно-магматической активизации. Полученный результат хорошо иллюстрирует график групповых средних значений теплового потока (рис. 6).

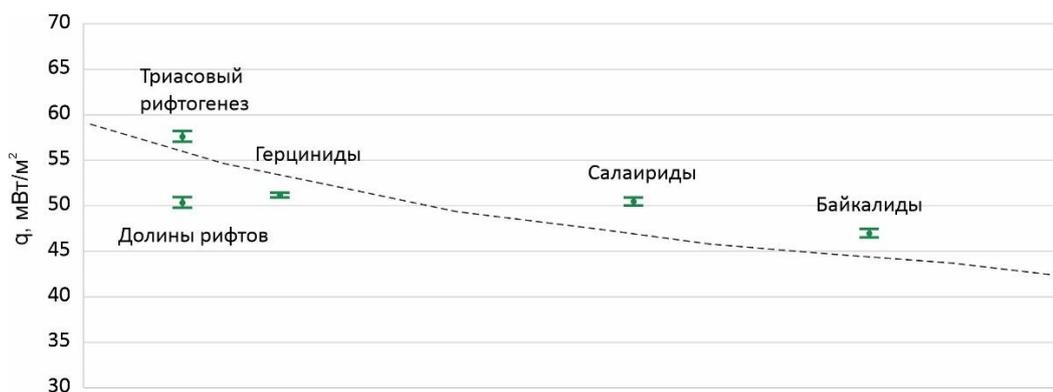


Рисунок 6 – График групповых средних значений теплового потока для блоков разного возраста тектоно-магматической активизации.

Для оценки количественной связи теплового потока с дизъюнктивной тектоникой был введен параметр *плотность разрывных нарушений*, который отражает длину разрывных нарушений на единицу площади [км/км<sup>2</sup>]. Этот параметр характеризует суммарный эффект всех этапов тектонической активизации.

Воспользовавшись классификацией мезозойско-кайнозойских тектонических процессов (В.А. Конторович, 2002), разрывные нарушения были разделены по направлению на два типа (рис. 2): кайнозойские – ориентированные на северо-восток, то есть параллельно рифтовым долинам и мезозойские (раннеюрские и меловые) – разнонаправленные, преимущественно ориентированные по герцинским структурам. На диаграммах рассеяния видно наличие прямой зависимости с тепловым потоком для кайнозойских разрывных нарушений и отсутствие – для мезозойских (рис. 7).

Полученный результат свидетельствует о том, что связь теплового потока с разрывными нарушениями отчетливо прослеживается для областей проявления магматизма в консолидированных бортах рифтов и рифтовых долинах и становится максимальной с плотностью наиболее молодых кайнозойских разрывных нарушений. То

есть опять проявляется закономерное усиление теплового потока по мере омоложения тектонической активизации, и именно такой видится причина наличия связи теплового потока с разрывными нарушениями, образованными от повторной активизации триасового рифта в коньяк-кайнозойский этап и отсутствия – с разрывными нарушениями, простирающимися по герцинским структурам.

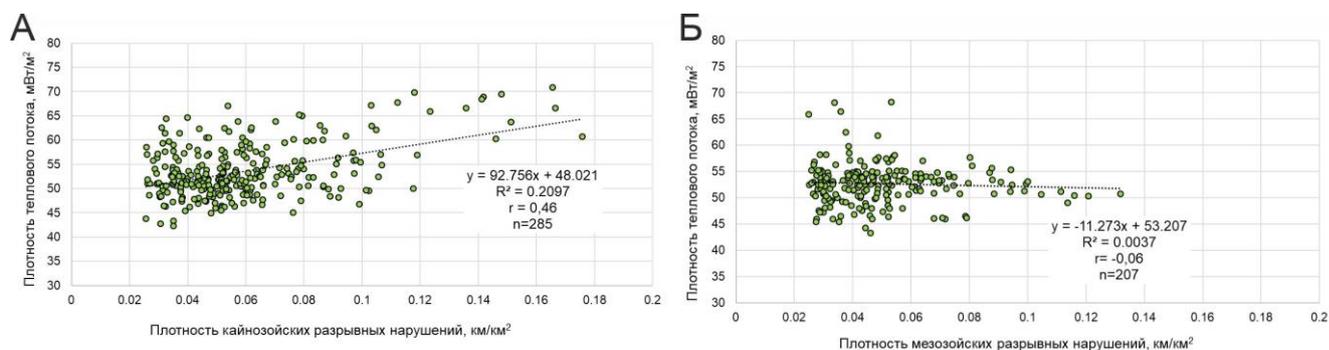


Рисунок 7 – Диаграмма рассеяния плотности теплового потока и плотности разрывных нарушений: А – кайнозойских; Б – мезозойских.

Связь теплового потока с вещественным составом пород, слагающих блоки доюрского основания, возникает в первую очередь из-за тектонической и энергетической предыстории их образования, а во вторую – за счет изменения теплофизических свойств. Вопреки распространенному мнению, наблюдаемые аномалии теплового потока не могут быть объяснены радиогенной теплогенерацией гранитов. При допущении равной изначальной концентрации радиоактивных элементов (РАЭ) в рифтогенных гранитах и байкальского цикла тектогенеза теплогенерация последних в силу распада части РАЭ могла уменьшиться не более, чем на 15 % (Hantschel, Kauerauf, 2009), однако радиогенная теплогенерация гранитов любого возраста остается максимальной по отношению ко всем остальным породам доюрского основания. При этом над гранитами в байкалидах полностью отсутствует тепловой аномальный эффект, а амплитуда аномалии над Александровским сводом составляет 22 мВт/м<sup>2</sup>, что не может быть объяснено наличием гранитоидного массива в его ядерной части. Латеральным изменением радиогенной теплогенерации пород можно объяснить вариации теплового потока  $\pm 2,5$  мВт/м<sup>2</sup>.

*Содержание раздела обосновывает второе защищаемое положение.*

## 5 Плотность теплового потока и нефтегазоносность территории

Породы баженовской свиты обладают повышенными удельным электрическим сопротивлением и содержанием урана. По мере замещения свиты изохронными

аналогами (марьяновской и максимоярской) снижаются содержание органического вещества, радиоактивность и удельное электрическое сопротивление (рис. 8).

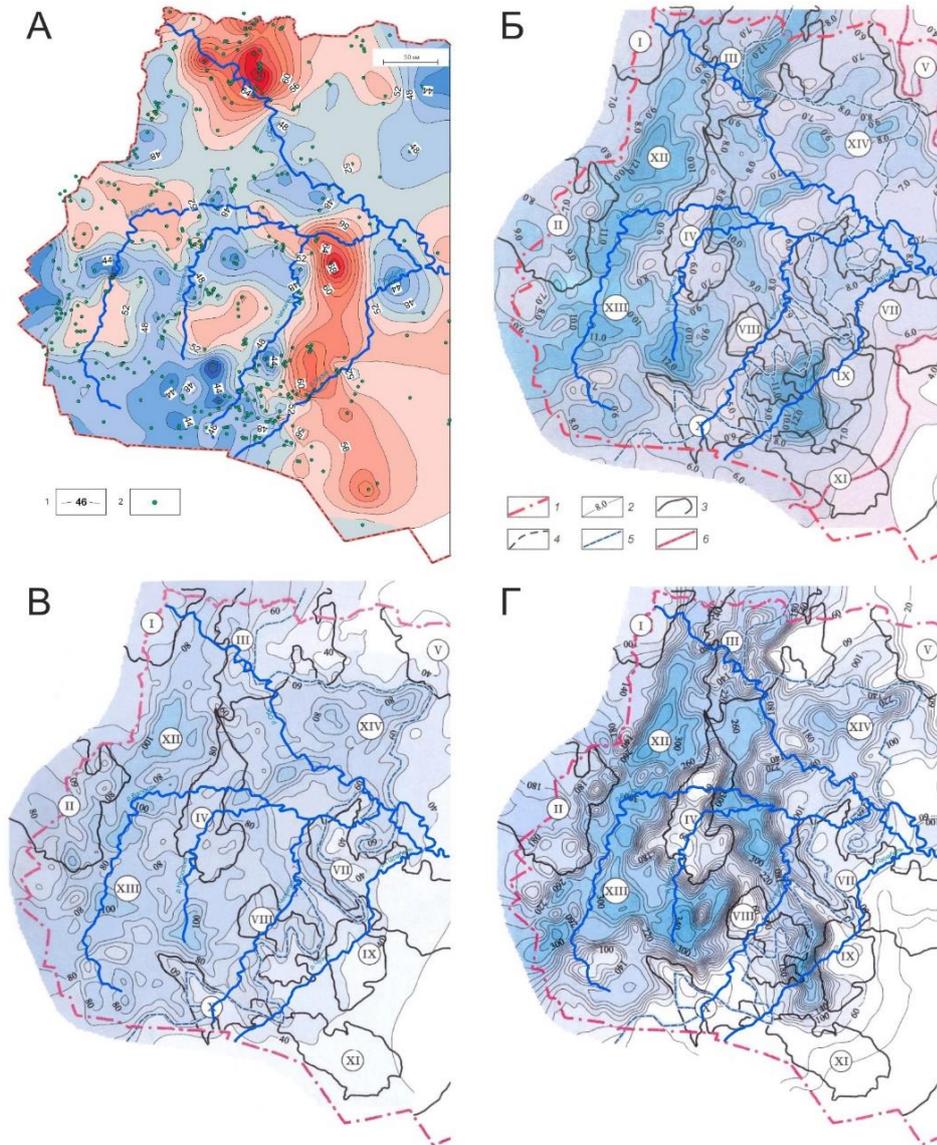


Рисунок 8 – Сопоставление схематической карты теплового потока (А) с картами содержания органического вещества (Б), средних значений гамма-каротажа (ГК) (В) и каротажа сопротивлений (КС) (Г) волжских отложений (по (В.А. Конторович, 2002) с изменениями): к А: условные обозначения те же, что и на рис. 3; к Б, В, Г: 1 – граница Томской области, 2 – изолинии значений  $C_{орг}$ , %, ГК и КС соответственно, 3 – контуры крупных положительных структур: I – Нижневартовский свод, II – Каймысовский свод, III – Александровский свод, IV – Среднеvasюганский мегавал, V – Пыль-Караминский мегавал, VII – Парабельский мегавыступ, VIII – Пудинское мезоподнятие, IX – Горелоярское мезоподнятие, X – Лавровский мезовыступ, XI – Калгачский мезовыступ, XII – Колтогорский мезопрогиб, XIII – Нюрольская мегавпадина, XIV – Усть-Тымская

мегавпадина; 4 – граница распространения юры, 5 – граница «переходной» зоны, 6 – западная граница распространения марьяновской свиты.

Выявлена связь теплового потока с распределением органического вещества и естественной радиоактивности волжских отложений. В современной структуре поля теплового потока выделяются участки положительных аномалий, которые возникли вследствие триасового рифтогенеза и сохранились до сих пор за счет подновления в последующие эпохи. По всей видимости, эти аномалии являются индикаторами поступления в волжское время глубинных флюидов, которые приносили уран и эндогенные углеводороды, а также множество других элементов (Неручев, 1982). Под воздействием рифтогенного тепла и в условиях обилия углеводородов происходило накопление планктоногенной биомассы, которая концентрировала в себе уран (Сидоров, Томсон, 2000). В связи с этим в областях повышенных тепловых потоков наблюдается увеличение содержания и органического вещества, и урана.

Кроме того, были получены закономерности распределения теплового поля над месторождениями с различным типом флюида (рис 3, 9).

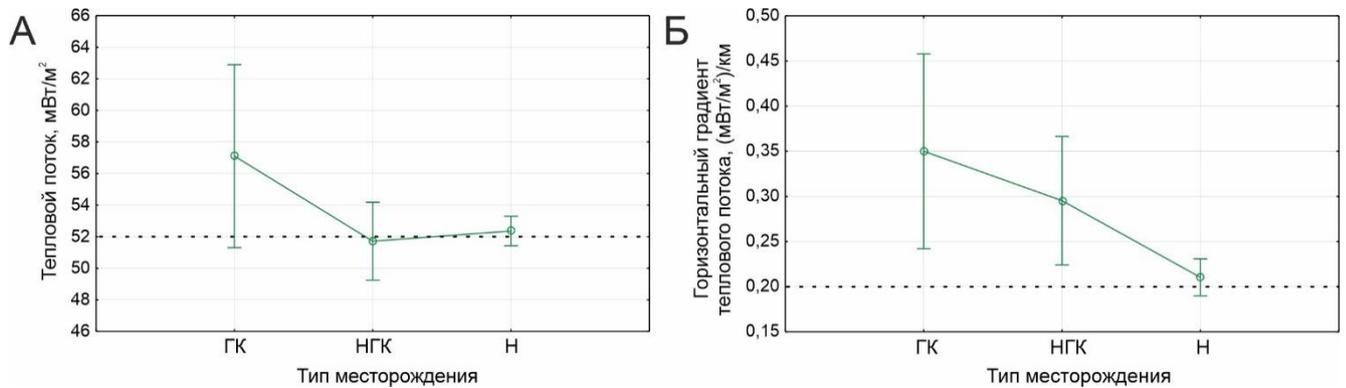


Рисунок 9 – Средние значения теплового потока (А) и его градиента (Б) в пределах месторождений с различным фазовым составом флюида.

Большинство нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений находятся в периферийных частях положительных аномалий, при этом нефтегазоконденсатным соответствуют повышенные градиенты. Газоконденсатным месторождениям соответствуют самые высокие значения и градиенты теплового потока (рис. 9).

*Содержание раздела обосновывает третье защищаемое положение.*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что месторождения углеводородов тяготеют к аномальным особенностям распределения глубинного теплового потока, преимущественно к градиентным зонам положительных аномалий. Скопление месторождений нефти и газа в зонах повышенных значений теплового потока можно объяснить достаточной степенью прогрева нефтематеринских пород для генерации углеводородов. Однако вопрос о причинах, вызывающих появление таких аномальных зон в распределении теплового потока, до сих пор является дискуссионным.

В рамках настоящей работы решались научные задачи картирования плотности глубинного теплового потока и выявления причин его вариаций на территории юго-востока Западно-Сибирской плиты.

Построена схематическая карта глубинного теплового потока из основания осадочного разреза по результатам моделирования в 433 глубоких скважинах. Выявлены зоны аномального теплового потока, расположение которых согласуется с менее детальными картопостроениями предыдущих лет.

В качестве основного фактора, контролирующего величину теплового потока в отдельных блоках, определен возраст их тектоно-магматической активизации: по мере его омоложения установлено закономерное усиление теплового потока. Локальные аномалии в пределах разновозрастных блоков можно объяснить латеральным изменением теплофизических свойств пород.

Установлена связь теплового потока с распределением органического вещества волжских отложений и локализацией месторождений углеводородов с различным фазовым составом флюида. Накопление достоверных представлений о причинах появления аномалий теплового поля способствует более полному выяснению их связи с месторождениями углеводородов, что позволит повысить эффективность прогноза по данным геотермии в самом Западно-Сибирском бассейне, а также перенести сделанные выводы и обобщения на другие нефтегазоносные бассейны.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях перечня ВАК, индексируемые Scopus и Web of Science*

1. Крутенко, Д. С. Плотность нефтегазоносности и глубинного теплового

потока территории (юго-восток Западной Сибири) / **Д. С. Крутенко**, В. И. Исаев, С. Г. Кузьменков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 7. – С. 148–163.

2. Моделирование фанерозойских очагов генерации углеводородов и оценка их роли в формировании залежей «палеозойской» нефти (юго-восток Западной Сибири) / В. И. Исаев, М. Ф. Галиева, Г. А. Лобова, **Д. С. Крутенко**, Е. Н. Осипова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 3. – С. 85–98.

3. Тепловой поток и нефтегазоносность (полуостров Ямал, Томская область / В. И. Исаев, Г. А. Лобова, А. Н. Фомин, В. И. Булатов, С. Г. Кузьменков, М. Ф. Галиева, **Д. С. Крутенко** // Георесурсы. – 2019 – Т. 21 – № 3. – С. 125–135.

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК

4. **Крутенко, Д. С.** Тепловой поток и вещественный состав палеозойского фундамента (юго-восток Западной Сибири) / **Д. С. Крутенко**. – Текст электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – № 4. – С. 1–28. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/2022/32\\_2022.html](http://www.ngtp.ru/rub/2022/32_2022.html) (дата обращения 28.05.2024).

5. **Крутенко, Д. С.** Тепловой поток, триасовая рифтовая система и мезозойско-кайнозойские разломы (юго-восток Западной Сибири) / **Д. С. Крутенко**, В. И. Исаев, С. Г. Кузьменков. – Текст электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2021. – Т. 16. – № 2. – С. 1–24. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/2021/19\\_2021.html](http://www.ngtp.ru/rub/2021/19_2021.html) (дата обращения 28.05.2024).

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus, Web of Science

6. Картирование теплового потока Западной Сибири (юго-восток) / В. И. Исаев, **Д. С. Крутенко**, Г. А. Лобова, Е. Н. Осипова, В. И. Старостенко // Геофизический журнал. – 2021. – Т. 43. – № 6. – С. 173–195.

7. Тепловой поток, термическая история материнской нижнеюрской тогурской свиты и нефтегазоносность палеозоя Колтогорского мезопрогиба (южный сегмент Колтогорско-Уренгойского палеорифта) / Г. А. Лобова, Т. Е. Лунева, В. И. Исаев, А. Н. Фомин, Ю. В. Коржов, М. Ф. Галиева, **Д. С. Крутенко** // Геофизический журнал – 2019. – Т. 41. – № 5. – С. 128–155.