

DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/32\\_2022](https://doi.org/10.17353/2070-5379/32_2022)

УДК 550.361:552.2(571.16)

**Крутенко Д.С.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, [dskrutenko@gmail.com](mailto:dskrutenko@gmail.com)

## **ТЕПЛОВОЙ ПОТОК И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПАЛЕОЗОЙСКОГО ФУНДАМЕНТА (ЮГО-ВОСТОК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

*Представлено продолжение комплексного исследования причин вариаций теплового потока юго-востока Западной Сибири. Проведены качественный и количественный анализы для выявления зависимости между глубинным тепловым потоком и вещественным составом пород фундамента, который характеризуется теплофизическими свойствами - теплопроводностью и плотностью радиоактивной теплогенерации. Для территории исследований рассчитаны значения плотности теплового потока из основания осадочного разреза в 433 поисково-разведочных, опорных и параметрических скважинах. На основе этих данных построена схематическая карта плотности теплового потока западной части Томской области.*

***Ключевые слова:** вариации теплового потока, вещественный состав пород фундамента, теплопроводность, плотность радиоактивной теплогенерации, западная часть Томской области, юго-восток Западной Сибири.*

### **Введение**

Вопрос о влиянии вещественного состава пород фундамента Западной Сибири на тепловое поле рассматривался неоднократно. А.Р. Курчиковым показано, что для Западной Сибири определенные зависимости между вещественным составом пород фундамента и вариациями теплового потока существуют [Курчиков, 1992]. Хотя в большинстве случаев интервалы изменения значений глубинного теплового потока для разных типов пород фундамента велики и пересекаются между собой, для некоторых участков получены жесткие зависимости. Вместе с тем наблюдаются различия в средних значениях глубинного теплового потока в породах, отличающихся по условиям образования или вещественному и минеральному составу, что позволяет говорить об определенных тенденциях. Так получено, что метаморфические и интрузивные породы фундамента находятся в более прогретых областях, чем эффузивные и осадочные горные породы. Для Красноленинского района даже удалось зафиксировать дифференцированность по тепловому потоку в пределах развития каждого из типов пород в зависимости от их вещественного состава. Высокая степень неоднозначности связей между вещественным составом пород фундамента и вариациями теплового потока объясняется А.Р. Курчиковым приуроченностью территорий к зонам развития герцинской складчатости, где основные энергетические процессы, по его мнению,

еще не завершены.

Хорошая корреляция вариаций теплового потока с генетическими типами пород фундамента получена Т.Е. Лунёвой [Лунёва, 2020]. Выявлено, что повышенные значения теплового потока статистически значимо соответствуют метаморфическим формациям. При этом магматические и осадочные породы по тепловому потоку не дифференцируются, они близки к среднему значению на изучаемой территории Нюрольской мегавпадины.

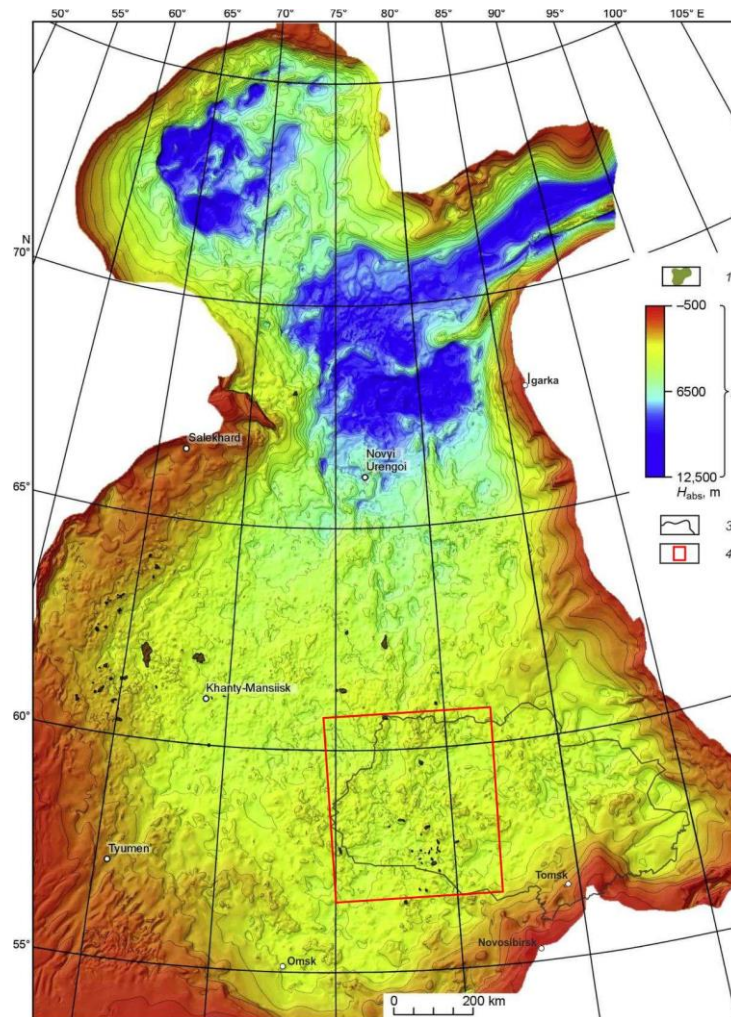
Важно отметить обстоятельство, выделенное А.Р. Курчиковым [Курчиков, 1992]. При рассмотрении вопроса о связи вещественного состава горных пород с вариациями теплового поля необходимо понять причину этой связи: либо различные типы пород характеризуются разными тектонической и энергетической предысториями их образования, либо изменение вещественного состава пород сопровождается изменением их теплофизических свойств.

Поскольку считается, что равновесного состояния бассейн достигает за 100 млн. лет [Macgregor, 2020], то Западно-Сибирский бассейн, по-видимому, характеризуется полной завершенностью всех энергетических процессов. Последняя эпоха складчатости завершилась в триасе, после чего в спокойных условиях стал накапливаться мезозойско-кайнозойский осадочный чехол. Следовательно, существование связи между тепловым потоком и факторами, характеризующимися значительным энергетическим эффектом (дизъюнктивная тектоника, рифтогенез, внедрение интрузий), маловероятно. Этот вывод находит подтверждение в раннее полученных результатах [Крутенко, Исаев, Кузьменков, 2021].

Целью данного исследования является проведение качественного и количественного анализа для выявления зависимости между глубинным тепловым потоком и вещественным составом пород фундамента, который характеризуется теплофизическими свойствами - теплопроводностью и плотностью радиоактивной теплогенерации.

Эта работа является продолжением комплексного исследования причин вариаций теплового потока юго-востока Западной Сибири (рис. 1). Коллективом исследователей приведены результаты оценки качественной (визуальной) корреляции распределения плотности теплового потока и нефтегазоносности территорий [Исаев и др., 2019]. Ранее опубликована авторская карта теплового потока западных нефтепромысловых районов Томской области [Исаев и др., 2021], охарактеризованы аномальные особенности распределения плотности теплового потока разного характера: ярко-выраженные «положительные аномалии», крупные и относительно небольшие по занимаемой территории «отрицательные аномалии», а также «градиентные зоны», окаймляющие крупные аномалии. Отмечено, что в пределах положительных структур *осадочного чехла* наблюдается повышение величин плотности теплового по сравнению с зонами отрицательных структур. Но имеет место и иная корреляция для положительных структур – он характеризуется пониженными

значениями плотности теплового потока или отсутствием локализация структуры в распределении теплового потока. Дана дифференцированная оценка качественной и количественной корреляций распределения плотности теплового потока, зон развития триасовых грабен-рифтов и разновозрастных систем мезозойско-кайнозойских разломов [Крутенко, Крутенко, Исаев, Кузьменков, 2021].



**Рис. 1. Структурная карта Западно-Сибирской плиты по реперному сейсмическому горизонту, приуроченному к подошве юрских отложений с положением территории исследований (по [Brekhuntsov, Monastyrnev, Nesterov, 2011])**

*1 - месторождение углеводородов доюрского комплекса; 2 - шкала глубин кровли доюрских образований; 3 - административная граница Томской области; 4 - контур территории исследований.*

### **Тектоника территории исследований**

Территория исследований относится к Центрально-Западносибирской складчатой системе [Сурков, Жеро, 1981], имеющей герцинский возраст. Самой крупной структурой этой системы является Назино-Сенькинский мегаантиклинорий (рис. 2). Далее на юго-западе располагается широкая и протяженная сложно-построенная положительная мегаструктура, которая состоит из Нижневартовского и Васюган-Пудинского антиклинориев. Эти две

мегаструктуры разделены Айгольским синклиниорием. Самой западной антиклинорной зоной инверсионного типа развития является Верхневасюганский антиклинорий. Все три положительные структуры имеют северо-западное простирание.

Кроме геосинклинально-складчатых позднегерцинских структур в состав складчатой системы входят Межовский и Усть-Тымский срединные массивы.

На исследуемой территории получили развитие три грабен-рифта триасового возраста, имеющие северо-восточное направление: Колтогорско-Уренгойский, Усть-Тымский и Чузикский, которые пересекают Назино-Сенькинский мегаантиклинорий на три блока.

Фундамент насыщен интрузивными комплексами кислого, основного и ультраосновного состава. Глубинные региональные разломы, ограничивающие крупные герцинские структуры, в основном, также имеют северо-северо-западное направление.

### **Тепловой поток территории исследований**

Расчет теплового потока осуществлялся по известной методике [Исаев и др., 2018], которая предполагает выполнение структурно-тектонических реконструкций, учет вековых климатических изменений, а также использование данных о распределении современных геотемператур и палеотемператур. Глубинный тепловой поток определяется решением обратной задачи геотермии средствами программного комплекса одномерного бассейнового моделирования ТеплоDialog.

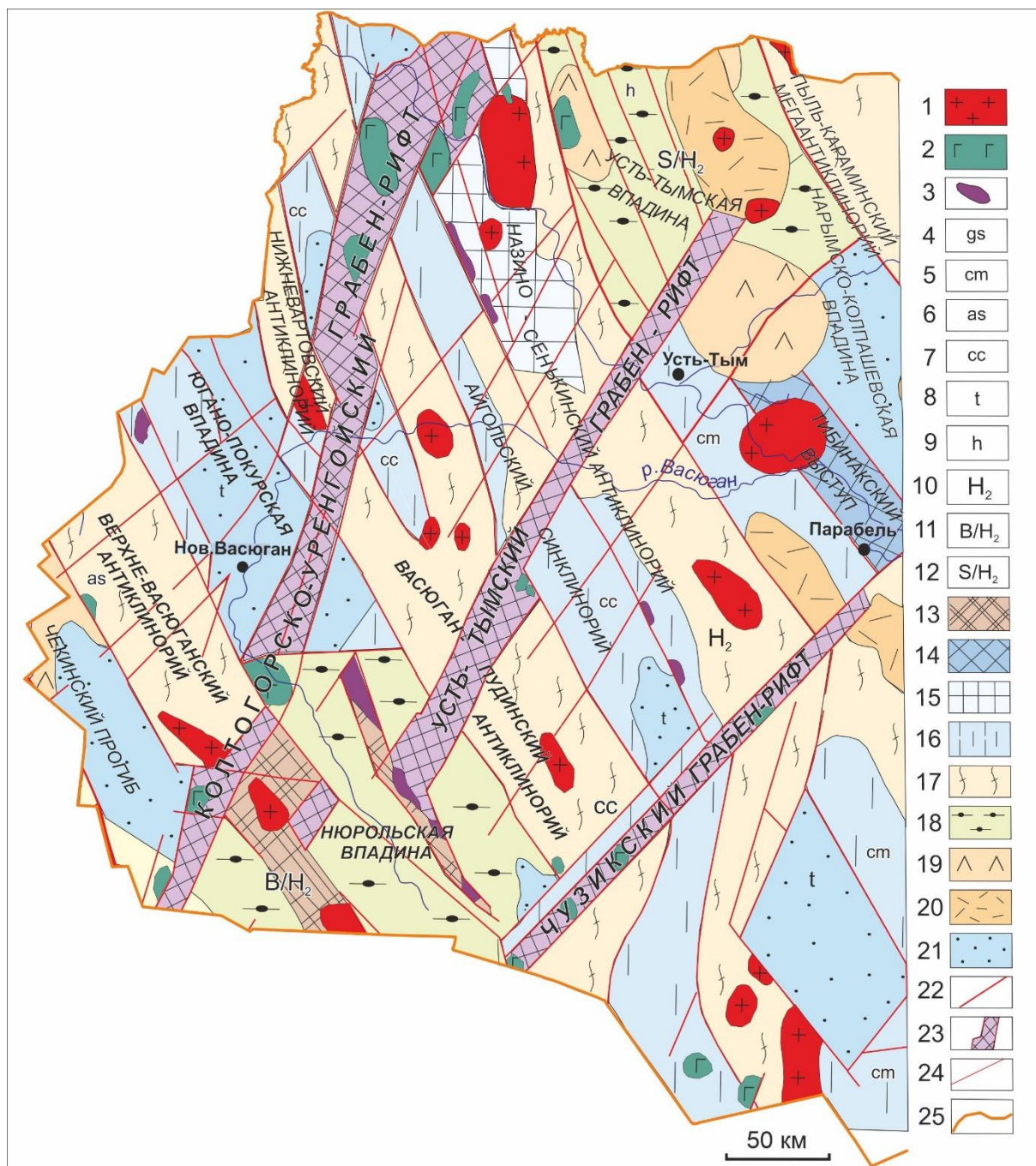
Модель процесса распространения тепла основана на решении одномерной начально-краевой задачи для уравнения теплопроводности твердого тела с подвижной верхней границей в условиях кондуктивного теплопереноса [Starostenko et al., 2006]. Для территории исследований, расположенной в стабильной области Западно-Сибирской плиты, характерна подчиненная роль конвективного механизма выноса глубинного тепла по сравнению с кондуктивным, его роль в суперпозиции может не превышать 1% [Хуторской, 1996].

В качестве входных параметров для геотемпературной модели используются пластовые температуры, полученные при испытаниях скважин, термограммы выстоявшихся скважин (метод ОГГ), а также палеотемпературы, пересчитанные из определений отражательной способности витринита.

Более подробно применяемая в данном исследовании методика изложена ранее [Крутенко, Исаев, Кузьменков, 2021].

Для территории исследований рассчитаны значения плотности теплового потока из основания осадочного разреза в 433 поисково-разведочных, опорных и параметрических скважинах (рис. 3, Приложение 1). В опубликованной ранее статье приведен каталог плотности теплового потока для 204 скважин [Исаев и др., 2021].

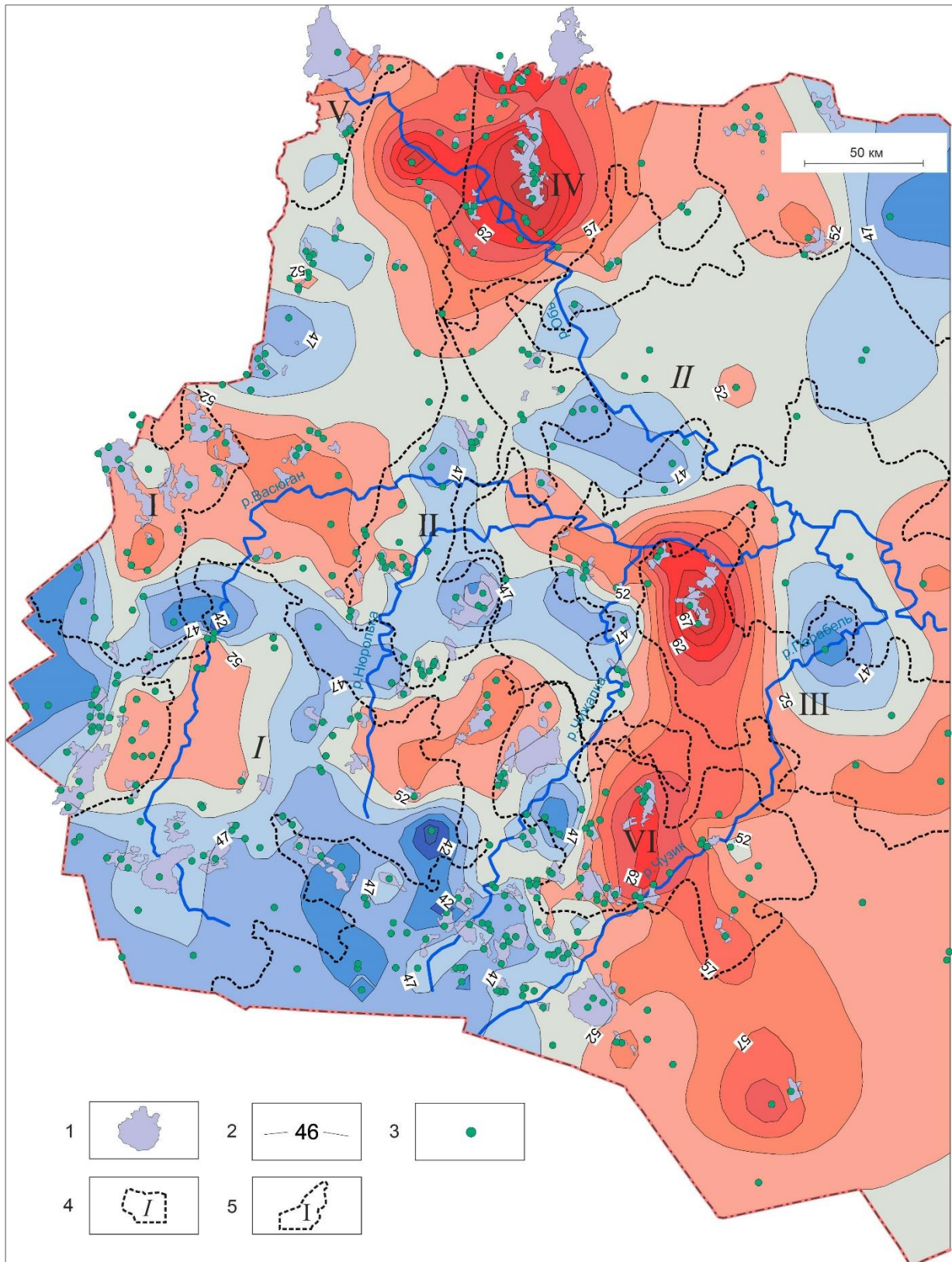




**Рис. 2. Фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты**  
(по [Сурков, Жеро, 1981])

*Интрузивные комплексы: 1 - гранитоиды, 2 - базиты, 3 - ультрабазиты; формации геосинклинальные: 4 - кремнисто-сланцевая, 5 - глинисто-сланцевая, 6 - аспидная, 7 - карбонатно-глинисто-сланцевая; формации протоорогенные и переходные: 8 - теригенная, 9 - угленосная; 10 - области позднегерцинской складчатости; 11 - области байкальской складчатости, переработанные герцинским тектогенезом; 12 - области салаирской складчатости, переработанные герцинским тектогенезом; 13 - выступы-горсты байкальских складчатых комплексов; 14 - выступы-горсты салаирских и каледонских складчатых комплексов; 15 - ядра антиклинориев, сложенные салаирскими и каледонскими складчатыми комплексами; 16 - основания межгорных прогибов; 17 - антиклинорные зоны инверсионного типа развития (моноциклические); 18 - наложенные впадины и прогибы в пределах срединных и устойчивых массивов; 19 - раннемезозойские впадины и грабены в пределах каледонской и герцинской складчатостей; 20 - покровы эффузивов разного состава; 21 - межгорные прогибы и внутренние впадины; 22 - разломы, разграничивающие структурно-формационные зоны; 23 - раннемезозойские грабен-рифты; 24 - прочие разломы; 25 - административная граница Томской области.*



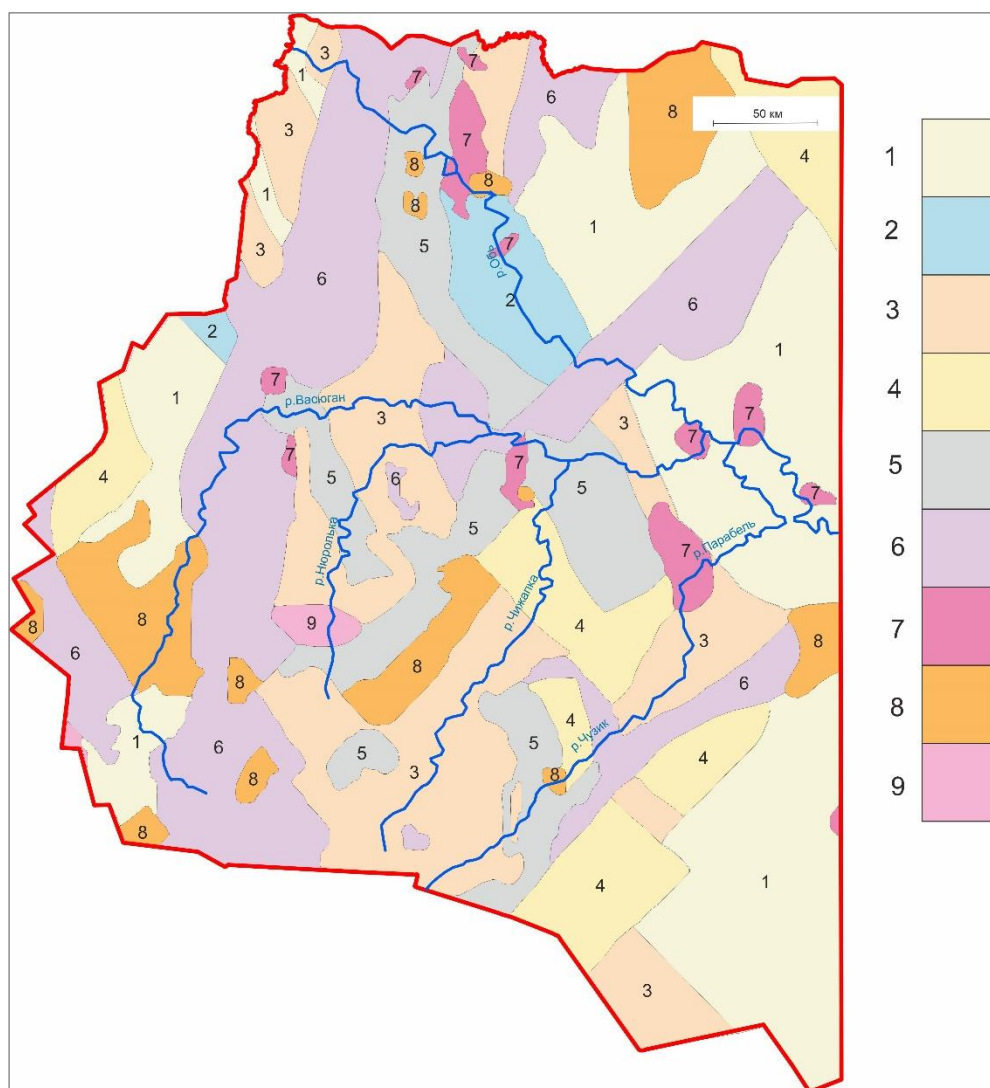


**Рис. 3. Схематическая карта плотности теплового потока западной части Томской области**  
 I - месторождение углеводородов; 2 - изолиния плотности теплового потока,  $\text{mW/m}^2$ ; 3 - скважина палеотемпературного моделирования; 4-5 - контуры структур осадочного чехла I порядка [Конторович, 2002]: 4 - отрицательная структура и ее условный номер: I - Нюрольская мегавпадина, II - Усть-Тымская мегавпадина; 5 - положительная структура и ее условный номер: I - Каймысовский свод, II - Среднеvasyуганский мегавал, III - Парабельский мегавыступ, IV - Александровский свод, V - Нижневартровский свод; положительная структура осадочного чехла I порядка и ее условный номер [Атлас..., 2004]: VI - Пудинский мегавал.

### Визуальное сопоставление теплового потока и вещественного состава фундамента

В отличие от горизонтально слоистого осадочного чехла, который практически равномерно покрывает западную часть Томской области, а, следовательно, характеризуется латерально однородными значениями теплофизических параметров, палеозойский фундамент дислоцирован на многочисленные блоки, различающиеся по вещественному составу. Эта предпосылка позволяет рассматривать корреляцию теплового потока с вещественным составом, вследствие латеральной неоднородности теплофизических параметров фундамента.

Согласно карте вещественного состава поверхности доюрского основания Томской области, территория ее западной части представлена 9 петротипами: терригенные породы, терригенно-карбонатные, карбонаты, глинистые сланцы, глинисто-кремнистые породы, андезиты-базальты, граниты и липариты (рис. 4).



**Рис. 4. Схема вещественного состава – петротипов пород фундамента запада Томской области**  
(на основе [Карта вещественного состава..., 2001])

*Породы: 1 - терригенные; 2 - терригенно-карбонатные; 3 - карбонаты; 4 - глинистые сланцы; 5 - глинисто-кремнистые; 6 - андезиты-базальты; 7 - граниты; 8 - липариты; 9 - ультрабазиты.*

При сопоставлении распределения теплового потока с вещественным составом фундамента (рис. 5) замечены следующие особенности. Наиболее ярко в тепловом поле проявляются магматические породы кислого состава. Все крупные зоны распространения липаритов выделяются положительными аномалиями. Области распространения гранитов имеют гораздо меньшие размеры, поэтому их отражение в тепловом поле проследить сложнее, но в целом они также попадают в зоны повышенных значений теплового потока.

Магматические породы основного состава (андезито-базальты, слагающие грабен-рифты) проявляются в поле теплового потока не так выражено: в западной и северо-восточной частях карты породы характеризуются нормальным полем и отрицательными аномалиями, а в северной и юго-восточной – положительными. Магматические породы ультраосновного состава встречаются на территории единой и выражены отрицательной аномалией теплового потока.

Среди осадочных пород отрицательными аномалиями характеризуются карбонатные и терригенно-карбонатные породы. Терригенные породы в основном слагают области нормального поля. Глинистые сланцы и глинисто-кремнистые породы характеризуются положительными аномалиями теплового потока.

Таким образом, в целом наблюдается *визуальное отражение* различных по вещественному составу пород в поле теплового потока. Далее представляется логичным и интересным провести *количественный* сопоставительный анализ - корреляцию значений плотности теплового потока и вещественного состава фундамента, выраженного значениями теплофизических свойств пород.

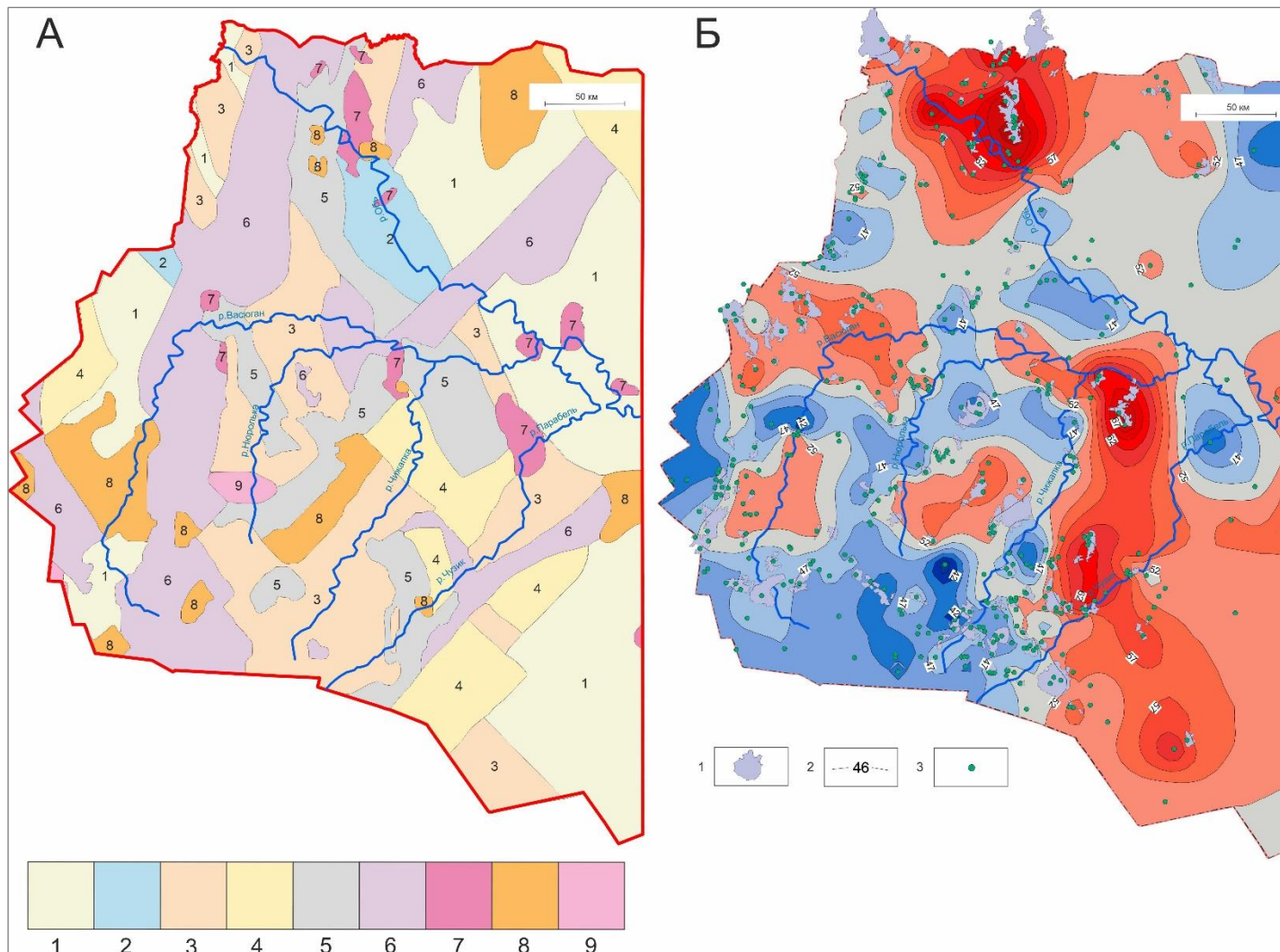
### **Описание фактического материала**

Каждому петротипу, согласно опубликованным данным, присвоено значение теплопроводности и радиогенной теплогенерации.

Фактические сведения о теплопроводности пород фундамента получены из опубликованной базы данных [Дучков, Соколова, Аюнов, 2017]. В своем исследовании А.Д. Дучков выполнял измерения теплопроводности пород доюрского основания на территории Западной-Сибири. В этом каталоге собраны значения, измеренные непосредственно на территории исследований (табл. 1).

Наименьшей теплопроводностью обладают терригенные породы, в частности глинистые сланцы. Содержание карбонатного материала значительно увеличивает теплопроводность в ряду терригенные – терригенно-карбонатные – карбонаты. Наличие кристаллических структур у этих отложений сближает их по теплофизическим параметрам с магматическими образованиями [Петрофизика..., 1992].





**Рис. 5. Сопоставление схемы вещественного состава фундамента (А) и схематической карты плотности теплового потока (Б) запада Томской области**

*А: Породы: 1 - терригенные; 2 - терригенно-карбонатные; 3 - карбонаты; 4 - глинистые сланцы; 5 - глинисто-кремнистые; 6 - андезито-базальты; 7 - граниты; 8 - липариты; 9 - ультрабазиты; Б: 1 - месторождение углеводородов; 2 - изолиния теплового потока, мВт/м<sup>2</sup>; 3 - скважина палеотемпературного моделирования.*

Таблица 1

**Используемые значения теплопроводности** (по [Дучков, Соколова, Аюнов, 2017])

Литология	Теплопроводность, Вт/К*м
Терригенные	2,54
Терригенно-карбонатные	2,83
Карбонаты	3,04
Глинистые сланцы	2,15
Глинисто-кремнистые	2,27
Андезито-базальты	2,74
Граниты	3,81
Липариты	2,92
Ультрабазиты	5,45

Среди магматических пород эффузивные разности (липариты) обладают меньшей теплопроводностью, чем интрузивные (граниты). Повышенная теплопроводность интрузивных пород обусловлена повышенной плотностью и меньшими пористостью и содержанием воды по сравнению с осадочными и эффузивными породами [Петрофизика..., 1992]. При этом среди интрузивных ультраосновные породы характеризуются большей теплопроводностью, чем граниты, поскольку она увеличивается с ростом основности пород [Петрофизика..., 1992].

Сведения о радиогенной теплогенерации пород ранее опубликованы [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979] (табл. 2). Значения этого параметра также соответствуют территории Западной Сибири, поскольку средние величины содержаний радиоактивных элементов для платформ могут сильно отличаться.

Таблица 2

**Используемые значения радиогенной теплогенерации** (по [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979])

Литология	Генерация радиогенного тепла, мкВт/м <sup>3</sup>
Терригенные	0,77
Терригенно-карбонатные	0,63
Карбонаты	0,49
Глинистые сланцы	0,99
Глинисто-кремнистые	0,76
Андезито-базальты	2,25
Граниты	2,43
Липариты	0,02
Ультрабазиты	0,48

Величины радиогенной теплогенерации зависят от содержания радиоактивных элементов в горной породе. На территории исследования выделяются следующие группы осадочных пород по радиоактивным свойствам: терригенные, кремнистые, карбонатные. Наиболее высокое содержание урана и тория характерно для терригенных осадков и

глинистых сланцев. В терригенных породах отмечается зависимость содержания урана и тория от гранулометрического состава пород. Так радиоактивность пород увеличивается с уменьшением размера зерен в ряду песчаники – алевролиты – аргиллиты. Глинисто-кремнистые отложения содержат значительно меньше урана, тория и калия [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979]. Примерно таким же количеством радиоактивных элементов обладают терригенно-карбонатные породы. В ряду терригенно - карбонатные – карбонаты, соответственно, радиоактивность снижается.

Радиоактивность магматических пород постепенно возрастает в ряду ультраосновные – основные – кислые породы, пропорционально росту содержания кремнезема и калия [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979]. В вулканогенных породах (андезито-базальты, липариты) возрастание радиоактивности с увеличением кислотности пород проявляется еще отчетливее. Это связано с более устойчивым содержанием урана в однотипных по составу вулканогенных породах [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979].

Для оценки достоверности фактического материала проведено сопоставление значений радиогенной теплогенерации из нескольких источников [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979; Hasterok, Gard, Webb, 2018; Hantschel, Kauerauf, 2009; Cermak et al., 1982]. Результаты сопоставления сведены в табл. 3.

Таблица 3

**Сопоставление значений радиогенной теплогенерации из опубликованных источников**  
[Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979; Hasterok, Gard, Webb, 2018;  
Hantschel, Kauerauf, 2009; Cermak et al., 1982]

Литология	Генерация радиогенного тепла, мкВт/м <sup>3</sup> [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979]	Генерация радиогенного тепла, мкВт/м <sup>3</sup> [Hantschel, Kauerauf, 2009]	Генерация радиогенного тепла, мкВт/м <sup>3</sup> [Cermak et al., 1982]	Генерация радиогенного тепла, мкВт/м <sup>3</sup> [Hasterok, Gard, Webb, 2018]
Терригенные	0,77	1,1	0,9	17
Терригенно-карбонатные	0,63	0,89	0,72	1,36
Карбонаты	0,49	0,29	0,29	0,56
Глинистые сланцы	0,99	2,03	1,53	2,9
Глинисто-кремнистые	0,76	1,02	0,86	1,62
Андезито-базальты	2,25	2,57	3	2,7
Граниты	2,43	2,53	3,58	2,5
Липариты	0,02	0	0,0125	0,01
Ультрабазиты	0,48	0,58	0,88	0,44

Из табл. 3 видно, что все описанные закономерности сохраняются и прослеживаются во всех четырех источниках. Между тем численные значения сильно различаются. Единственное отличие связано с соотношением величин параметра между липаритами и гранитами. А.А. Смыслов и В. Чермак с соавторами считают, что радиогенная теплогенерация липаритов



выше, чем у гранитов [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979; Cermak et al., 1982]. Д. Хастерок, М. Гард, Дж. Уэбб и Т. Ханшель, А.И. Кауэрауф приводят сведения о том, что этот параметр у гранитов выше, чем у липаритов [Hasterok, Gard, Webb, 2018; Hantschel, Kauerauf, 2009]. Результаты сопоставительного анализа показывают хорошую согласованность с результатами исследований других авторов и говорят о высокой достоверности используемых значений радиогенной теплогенерации по [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979].

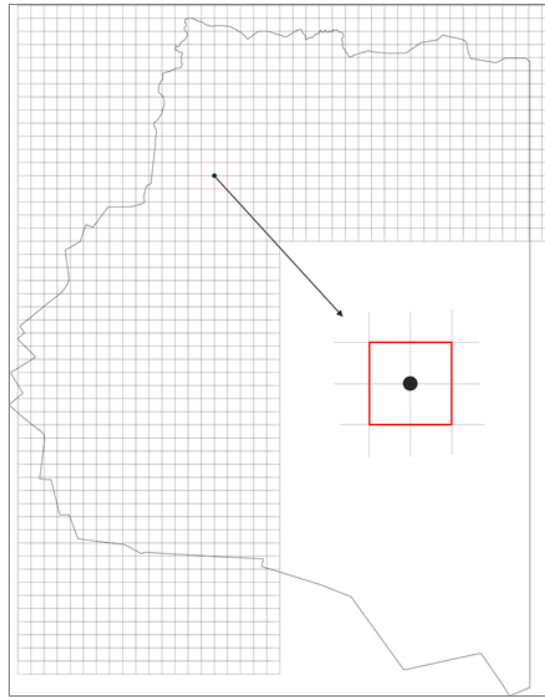
### **Методика расчета цифровых моделей теплопроводности и радиогенной теплогенерации**

Для построения цифровых моделей теплопроводности и радиогенной теплогенерации территория Томской области разделена на единичные участки (ячейки) 20x20 км. Для каждой ячейки определялось значение теплофизического параметра (теплопроводности или радиогенной теплогенерации) путем нахождения его средневзвешенного от значений всех петротипов, попадающих внутрь ячейки.

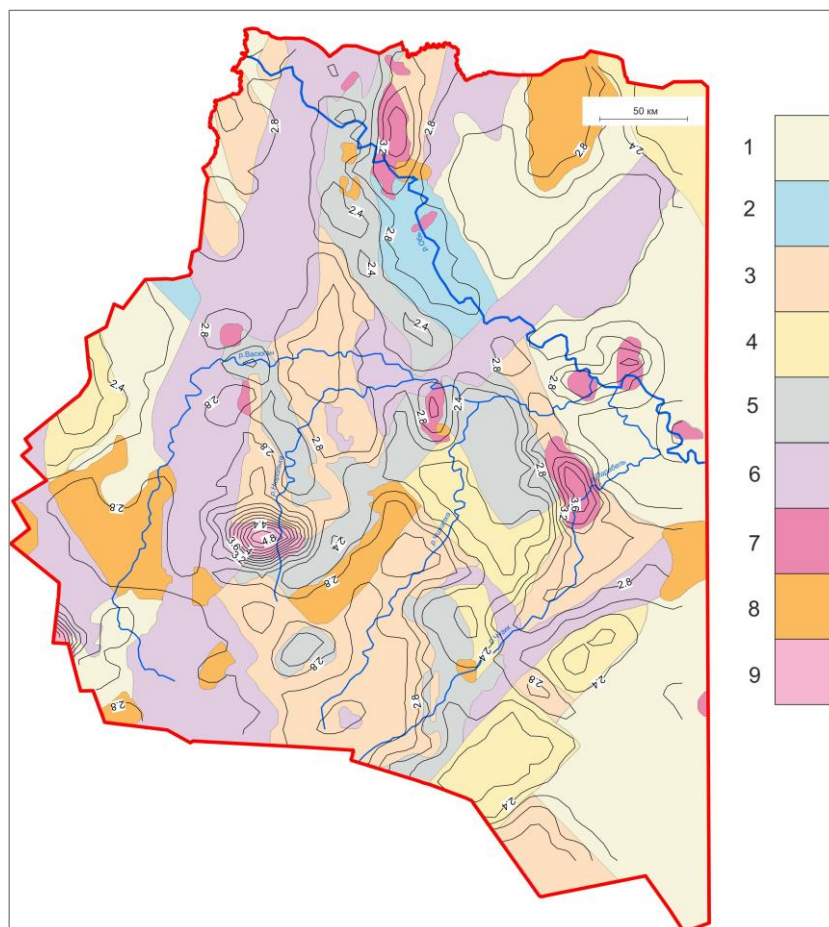
Алгоритм подсчета основан на выделении контуров распространения петротипов и подсчете их площади в каждом отдельно взятом единичном участке. Вклад каждого петротипа в значение теплофизического параметра ячейки оценивается в соответствии с занимаемой им площадью внутри ячейки. Алгоритм реализован с помощью программного кода, написанного на языке Python. Программный код основан на применении одного из инструментов машинного зрения – выделении контуров объектов. Код реализован посредством функций модуля OpenCV [Bradski, Kaehler, 2008].

Для оптимального соотношения детализации и представительности корреляционных исследований шаг расчетов выбран 10 км. Таким образом, сетка расчетов выполнена с перекрытием (рис. 6). Результатом расчетов является цифровая модель, в которой точке в узле каждой ячейки 10x10 км соответствует значение теплофизического параметра. Всего построены две цифровые модели: для распределений радиогенной теплогенерации и теплопроводности по изучаемой территории.

По результатам проведенных расчетов построены карты теплопроводности и радиогенной теплогенерации западной части Томской области в изолиниях (рис. 7, 8).



**Рис. 6.** Разбивка территории на ячейки сеткой 10x10 км, квадратная палетка 20x20 км для определения значений теплофизических параметров в узлах сетки 10x10 км

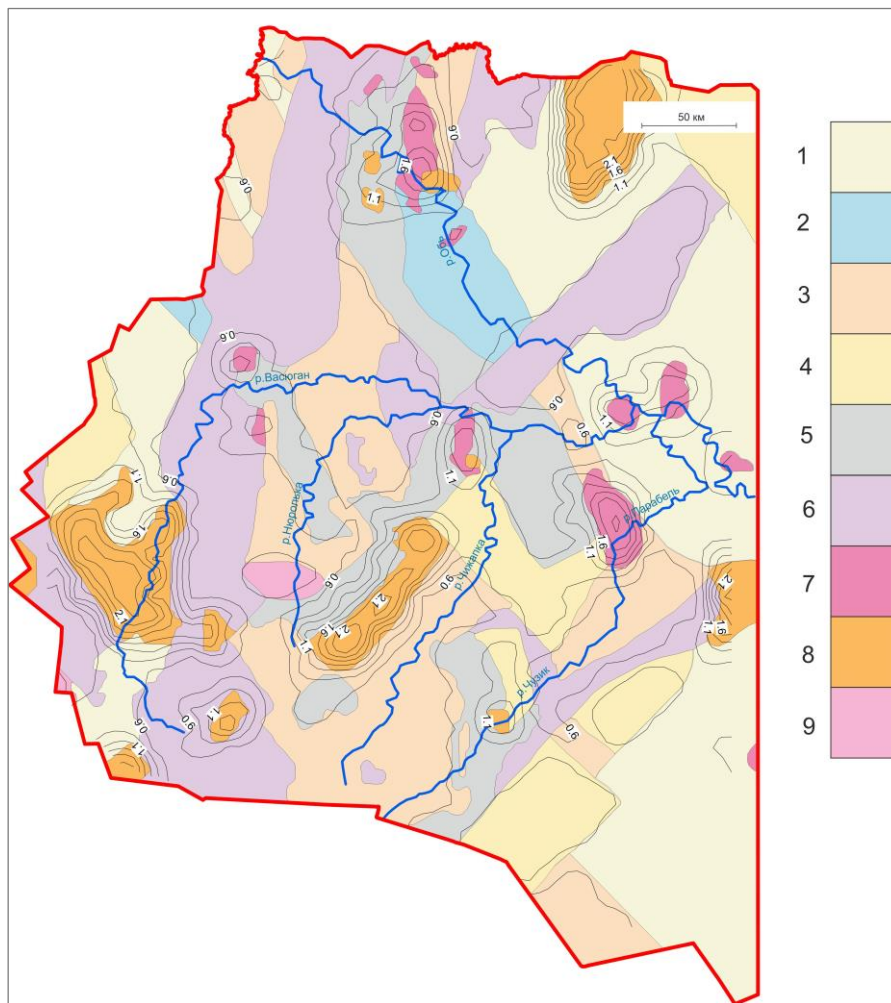


**Рис. 7.** Изолинии значений теплопроводности пород кровли фундамента (Вт/м·К) западной части Томской области (на фоне схемы петротипов)

Породы: 1 - терригенные; 2 - терригенно-карбонатные; 3 - карбонаты; 4 - глинистые сланцы; 5 - глинисто-кремнистые; 6 - андезиты-базальты; 7 - граниты; 8 - липариты; 9 - ультрабазиты.

### Количественная оценка корреляции плотности теплового потока и вещественного состава пород фундамента

Количественный анализ выполнялся путем сопоставления значений плотности теплового потока и теплофизических параметров (теплопроводности и плотности радиоактивного тепловыделения) в узле сетки 10x10 км и нахождения численной корреляционной зависимости между этими параметрами.



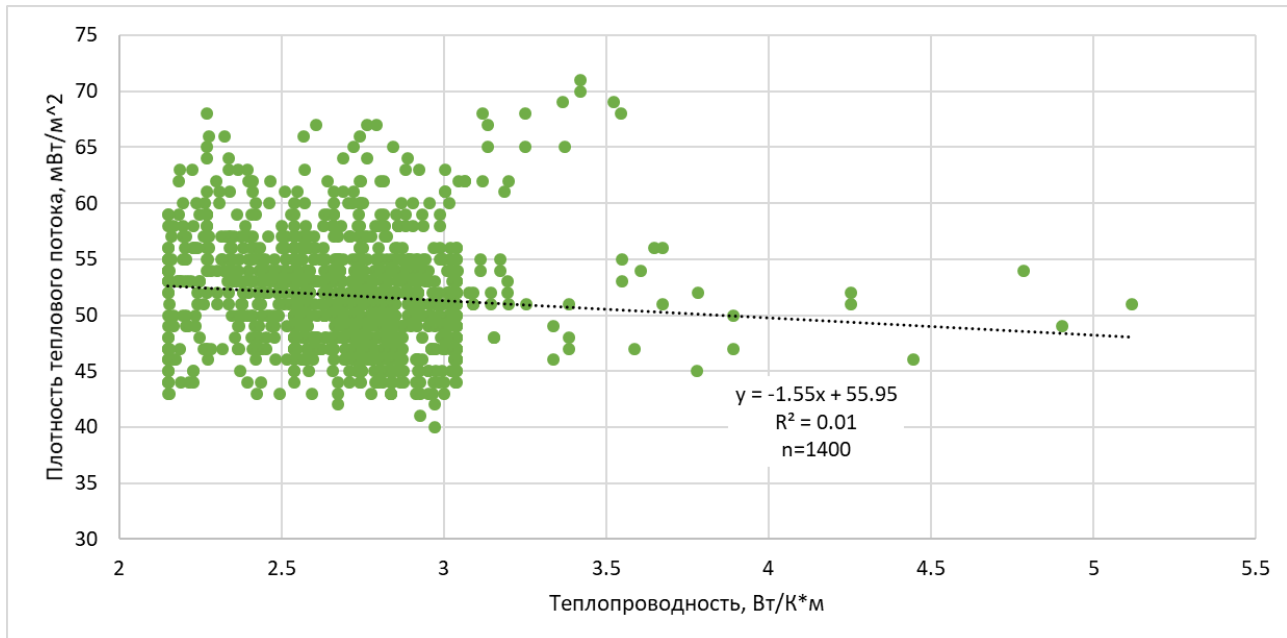
**Рис. 8. Изолинии плотности радиоактивного тепловыделения пород кровли фундамента ( $\text{мкВт}/\text{м}^3$ ) западной части Томской области (на фоне схемы петротипов)**

*Породы: 1 - терригенные; 2 - терригенно-карбонатные; 3 - карбонаты; 4 - глинистые сланцы; 5 - глинисто-кремнистые; 6 - андезито-базальты; 7 - граниты; 8 - липариты; 9 - ультрабазиты.*

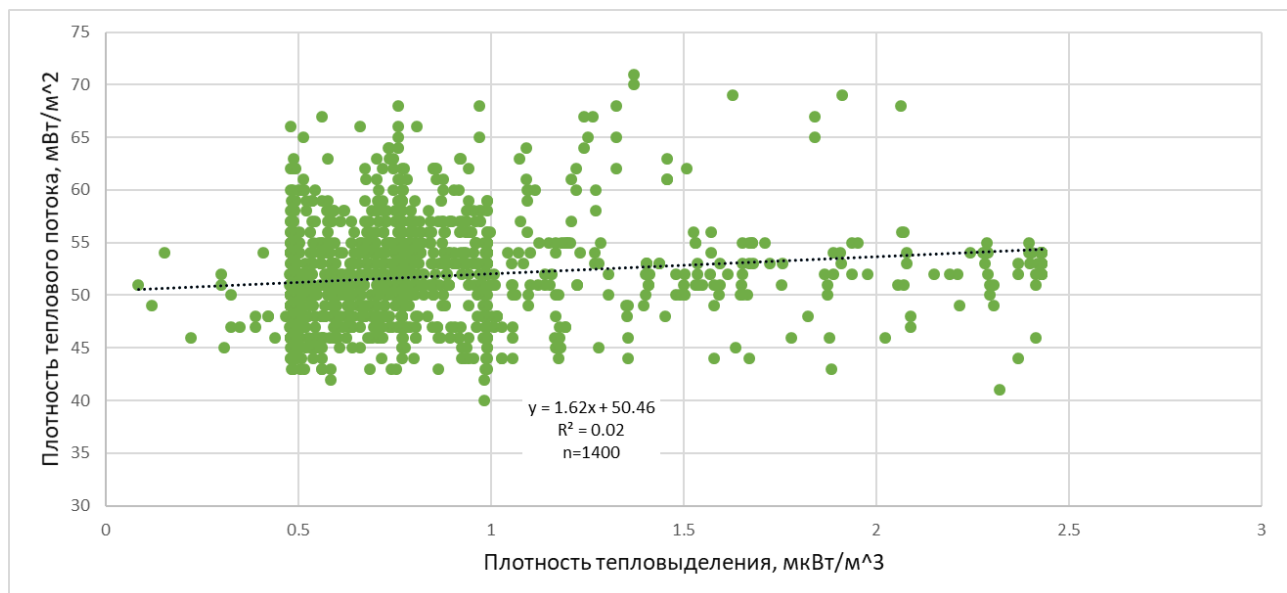
Кросс-плоты построены по 1400 значениям цифровых моделей (рис. 9, 10) для теплопроводности и радиогенного тепловыделения. Несмотря на то, что значимой корреляционной связи не получено – точки формируют облако значений, прослеживаются определенные типы зависимостей: для теплопроводности – обратная, для радиогенной теплогенерации – прямая. В обоих случаях получен незначимый коэффициент корреляции регрессионной зависимости, порядка 0,1.



Для выявления и анализа слабых зависимостей построены графики интервальных зависимостей плотности теплового потока от теплопроводности (рис. 11) и радиогенной теплогенерации (рис. 12) петротипов пород фундамента.



**Рис. 9. График зависимости плотности теплового потока от теплопроводности пород кровли фундамента**



**Рис. 10. График зависимости плотности теплового потока от плотности радиоактивного тепловыделения пород кровли фундамента**

Обратный характер зависимости плотности теплового потока от теплопроводности пород фундамента, выявленный по кросс-плоту, подтвердился и на графике интервальной зависимости. Пунктирной линией показано среднее значение теплового потока на

исследуемой территории – 51 мВт/м<sup>2</sup>. В целом, с увеличением теплопроводности величина теплового потока уменьшается. Исключением в замеченной тенденции являются граниты. Среднее значение теплового потока для них весьма высокое. Вместе с тем, на территории исследований имеет место широкий диапазон интервальных значений плотности теплового потока для каждого петротипа и эти диапазоны пересекаются между собой.

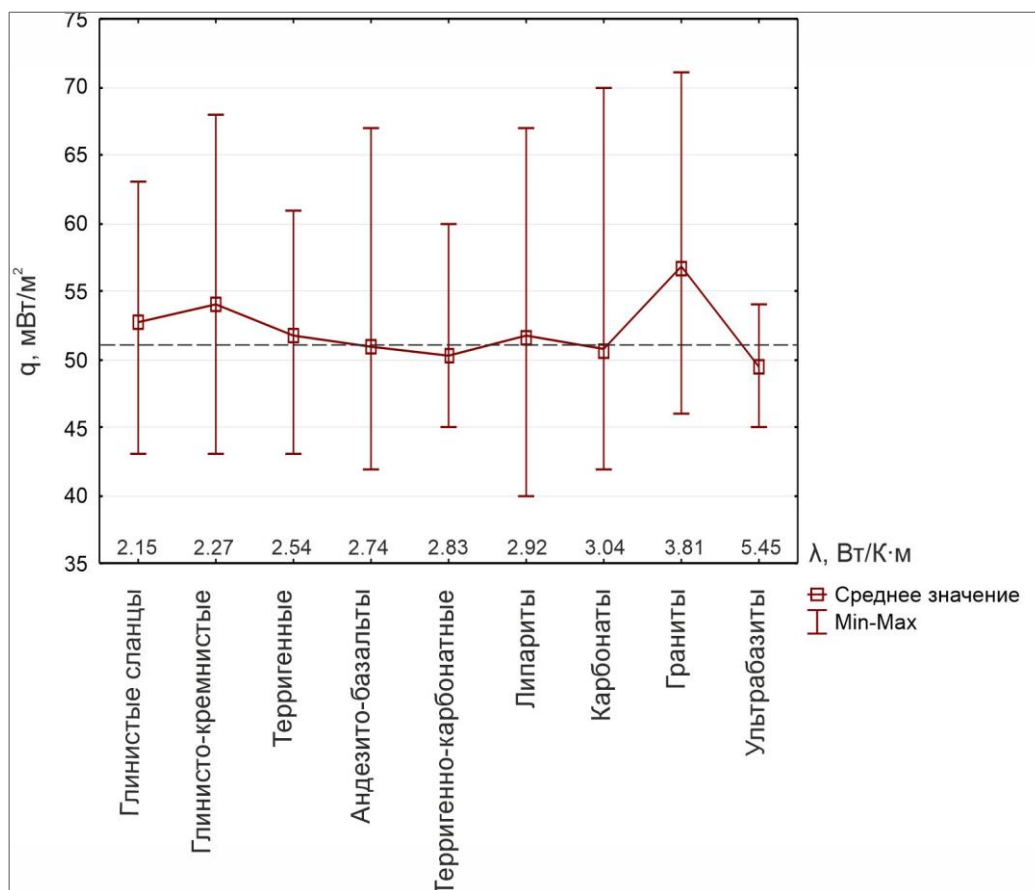
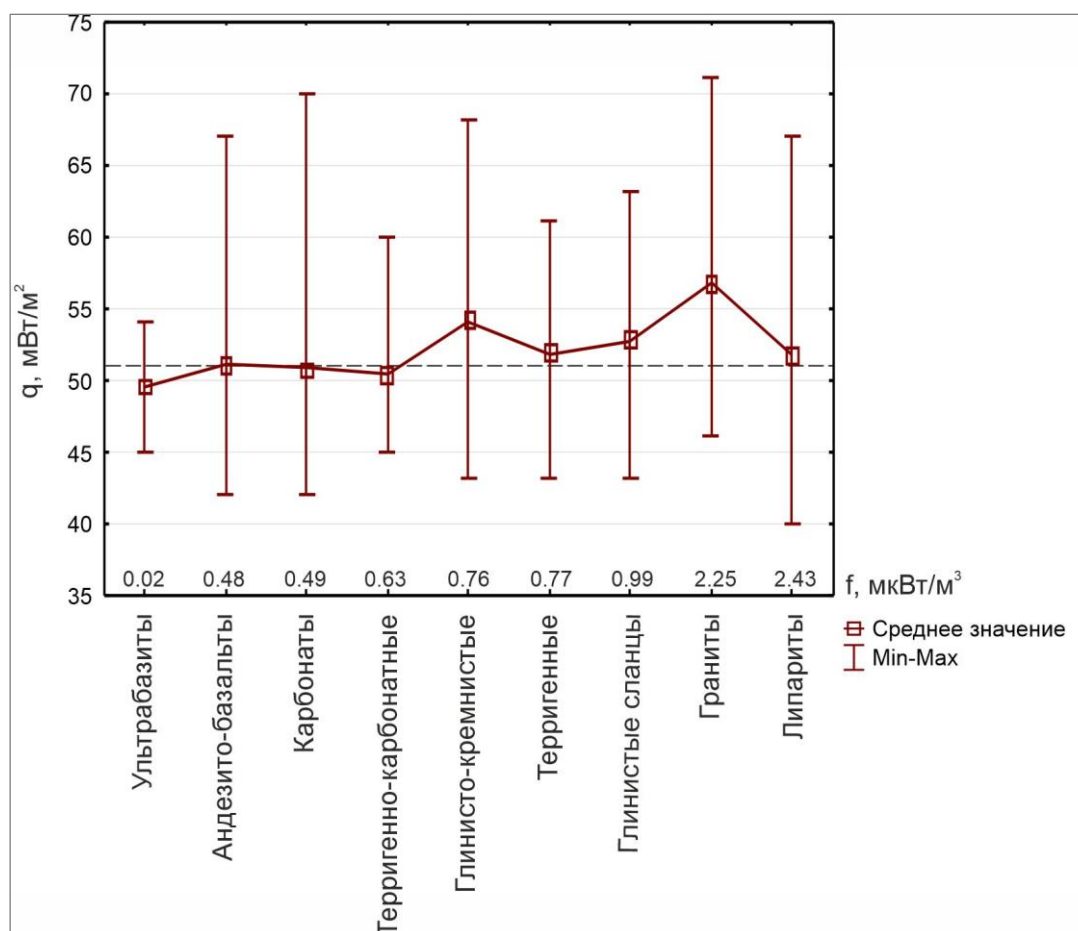


Рис. 11. График интервальной зависимости плотности теплового потока от теплопроводности петротипов пород фундамента

Прямой характер зависимости плотности теплового потока от радиогенной теплогенерации, выявленный по кросс-плоту, подтвердился по графику интервальной зависимости. Пунктирной линией показано среднее значение теплового потока на исследуемой территории – 51 мВт/м<sup>2</sup>. В целом, в ряду ультраосновные – основные – карбонаты – терригенные – кислые интрузивные – кислые эффузивные с увеличением радиогенной теплогенерации величина теплового потока увеличивается. Но, как и для теплопроводности, на территории исследований имеет место широкий диапазон интервальных значений плотности теплового потока для каждого петротипа, и эти диапазоны пересекаются между собой.

### Заклучение

Таким образом, зависимость плотности теплового потока от вещественного состава существует и визуально часто прослеживается при сопоставлении карт теплового потока и вещественного состава пород фундамента. Количественные зависимости получены слабые. Характер полученных зависимостей согласуется с теоретическими представлениями о них: обратный – для теплопроводности, прямой – для радиогенной теплогенерации [Смыслов, Моисеенко, Чадович, 1979], а также с результатами имитационного цифрового моделирования теплового режима осадочного чехла разного вещественного состава [Исаев, 2004].



**Рис. 12. График интервальной зависимости плотности теплового потока от плотности тепловыделения петротипов пород фундамента**

Довольно большой разброс значений теплового потока для каждого петротипа не позволяет однозначно охарактеризовать тепловым потоком группы горных пород, а также выполнять прогноз плотности теплового потока по вещественному составу.

Несоответствие гранитов намечаемой обратной зависимости между тепловым потоком и теплопроводностью может быть связано с большим влиянием других факторов, например, фактором высокой радиогенной теплогенерации или тектоническим фактором. Величину



теплового потока, по-видимому, формирует не один фактор, а комплекс различных факторов.

С помощью полученных зависимостей можно оценить, какой вклад в величину теплового потока вносит вещественный состав горных пород, описанный с помощью теплофизических параметров. Исходя из того, что средние значения теплового потока всех выделенных петротипов находятся в диапазоне для теплопроводности и радиогенной теплогенерации – от 50 до 57 мВт/м<sup>2</sup> (по интервальным зависимостям), то теплопроводность и радиогенная теплогенерация могут вносить вклад в плотность теплового потока порядка 7 мВт/м<sup>2</sup>, т. е. около 10-15 %.

Подобный результат был получен для Восточной провинции в Австралии [Mather et al., 2018]. Вклад в измеренный поверхностный тепловой поток палеозойской интрузии гранитного состава толщиной порядка 8 км составил 4,8 мВт/м<sup>2</sup>. Автор пришёл к выводу, что вариации порядка 5-10 мВт/м<sup>2</sup> могут быть связаны с локальными колебаниями в радиогенной теплогенерации, и это объясняет наблюдаемые вариации теплового потока внутри изучаемой провинции.

Следующий этап исследований нацелен на выявление и количественную оценку корреляции плотности теплового потока и латерального распределения нефтегазоносности пород фундамента

*Автор выражает благодарность А.Д. Дучкову - главному научному сотруднику ИНГГ СО РАН за предоставление экспериментальных определений теплопроводности горных пород палеозойского фундамента Западной Сибири.*

### Литература

Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». - Ханты-Мансийск: Государственное предприятие Ханты-Мансийского автономного округа «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана, 2004. - 148 с.

Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е. РИД «База данных тепловых свойств горных пород Сибирского региона РФ» Регистрационное свидетельство № 2017621489 от 15.12.2017 г. - 2017.

Исаев В.И. Палеотемпературное моделирование осадочного разреза и нефтегазообразование // Тихоокеанская геология. - 2004. - Т. 23. - № 5. - С. 101-115.

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

Исаев В.И., Лобова Г.А., Мазуров А.К., Старостенко В.И., Фомин А.Н. Районирование мегавпадин юго-востока Западной Сибири по плотности ресурсов сланцевой нефти тогурской и баженовской материнских свит // Геология нефти и газа. - 2018. - № 1. - С. 49-73.

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

Карта вещественного состава докембрийского основания. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. А.Э. Конторовича. - 2001.

*Конторович В.А.* Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. - 253 с.

*Крутенко Д.С., Исаев В.И., Кузьменков С.Г.* Тепловой поток, триасовая рифтовая система и мезозойско-кайнозойские разломы (юго-восток Западной Сибири) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2021. - Т.16. - №2. - [http://www.ngtp.ru/rub/2021/19\\_2021.html](http://www.ngtp.ru/rub/2021/19_2021.html). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/19\\_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2021)

*Курчилов А.Р.* Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности. - М.: Недра, 1992. - 231 с.

*Лунёва Т.Е.* Зональное районирование доюрского нефтегазоносного комплекса с использованием данных геотермии (промысловые районы Томской области) // Автореферат дисс. ... канд. геол.-минер. наук. - Томск, 2020. - 24 с.

Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н.Б. Дортмана. - М.: Недра, 1992. - 391 с.

*Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З.* Тепловой режим и радиоактивность Земли. - Л.: Недра, 1979. - 191 с.

*Сурков В.С., Жеро О.Г.* Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. - М.: Недра, 1981. - 143 с.

*Хуторской М.Д.* Введение в геотермию: курс лекций. - М.: Изд-во РУДН, 1996. - 156 с.

*Bradski G., Kaehler A.* Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. - Sebastopol, O'Reilly Media, Inc. - 2008. - 556 p.

*Brekhtunsov A.M., Monastyrsev B.V., Nesterov I.I. (Jr.)* Distribution patterns of oil and gas accumulations in West Siberia // Russian Geology and Geophysics. - 2011. - V. 52. - No. 8. - P. 781-791.

*Cermak V., Huckenholz H.G., Rybach L., Schmid R., Schopper J.R., Schuch M., Stoffler D., Wohlenberg J.* Physical properties of rocks // Landolt-Boernstein, Numerical data and functional relationships in Science and Technology, Group V: Geophysics and Space Research. - 1982. - P. 305-370.

*Hantschel T., Kauerauf A.I.* Fundamentals of basin and petroleum systems modeling. Heidelberg, Springer, 2009. - 476 p.

*Hasterok D., Gard M., Webb J.* On the radiogenic heat production of metamorphic, igneous, and sedimentary rocks // Geoscience Frontiers. - 2018. - V. 9. - № 6. - P. 1777-1794.

*Macgregor D.S.* Regional variations in geothermal gradient and heat flow across the African plate // Journal of African Earth Sciences. - 2020. - V. 171. - P. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103950>

*Mather B., McLaren S., Taylor D., Roy S., Moresi L.* Variations and controls on crustal thermal regimes in Southeastern Australia // Tectonophysics. - 2018. - V. 723. - P. 261-276.

*Starostenko V.I., Kutas R.I., Shuman V.N., Legostaeva O.V.* Generalization of the Rayleigh-Tikhonov stationary geothermal problem for a horizontal layer. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. - 2006. - V. 42. - No. 12. - P. 1044-1050.

## Каталог расчетных значений плотности теплового потока (юго-восток Западной Сибири)

Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Нюрольская мегавпадина				
Айсазская 1	Ай-1	3153	±2	45
Глуховская 2	Гл-2	3110*	±1	53
Гордеевская 1п	Г-1п	3285	±0	52
Западно-Крапивинская 222	ЗК-222	2846	±1	49
Западно-Крапивинская 223	ЗК-223	2830*	±0	49
Зимняя 1	Зи1	2680	±1	46
Игольская 2	Иг-2	3186	±2	48
Игольская 15	Иг-15	2870	±0	48
Карайская 1	Кй1	3233	±2	47
Карайская 2	Кй2	2880*	±0	48
Карайская 3	Кй3	3258	±1	46
Майская 1	М1	3187	±0	41
Майская 390	М390	3044	±2	45
Майская 391	М391	2860*	±0	46
Налимья 1	На-1	2986*	±0	48
Налимья 3	На-3	3481	±3	47
Нововилкинская 11	Н-В11	3125	±0	47
Нюльгинская 1	Ню-1	3272	±2	36
Пешеходная 1	П-1п	2926	±1	45
Поньжевая 300	Пж300	3320	±1	51
Поньжевая 302	Пж302	3351	±1	50
Северо-Айсазская 1	СА-1	3235	±0	48
Северо-Фестивальная 1	СФ-1	3237	±0	55
Северо-Фестивальная 2	СФ-2	3253	±1	47
Северо-Черталинская 400	С-Ч400	3264*	±0	46
Северо-Черталинская 402	С-Ч402	3252	±0	48
Таловая 1	Та-1	2909*	±0	46
Таловая 7	Та-7	2866*	±0	48
Тальянская 1	Т-1	3457	±0	47
Тамратская 1	Т-1п	3276	±0	55
Федюшкинская 4	Фед-4	3286	±0	47
Фестивальная 250	Фе-250	2835	±0	51
Фестивальная 253	Фе-253	3207	±0	44
Фестивальная 255	Фе-255	3222	±1	48
Чворовая 1	Чв-1	2940*	±1	50
Чворовая 3	Чв-3	3130	±0	53
Черталинская 1	Чр1	3456	±1	48
Черталинская 2	Чр2	3396	±0	47
Южно-Фестивальная 1	ЮФ-1п	3175	±3	45
Южно-Фестивальная 3	ЮФ-3	3137	±2	52
Южно-Фестивальная 4	ЮФ-4	3246	±0	47
Усть-Тымская мегавпадина				
Вертолетная 360	В360	3080	±2	48
Вертолетная 362	В362	3206	±0	47
Западно-Тымская 1	ЗТ1	3267	±0	50
Северо-Мыльджинская 1	СМ1	3027	±1	50
Толпаровская 1	То1	3237	±0	53
Каймысовский свод				
Аэросейсмическая 100	Аэ100	2674	±3	53
Аэросейсмическая 101	Аэ101	2735	±2	53
Верховая 1	Вх1	2820	±0	43
Весенняя 250	Вес250	2600*	±1	49
Весенняя 255	Вес255	2668	±1	54
Весенняя 258	Вес258	2701*	±1	55
Волковская 1	Во1	2711	±1	54
Волковская 2	Во2	2641	±1	56
Дальняя 1	Да1	2798	±3	46
Дальняя 2	Да2	2627*	±0	47
Двуреченско-Мелимовская 29	Д-М 29	2800*	±1	47
Дуклинская 1	Д1	2877	±0	53
Западно-Карайская 1	З-К 1	3240	±1	47
Западно-Карайская 3	З-К 3	3323	±0	45



Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Западно-Карасевская 70	ЗК70	2962	±1	47
Западно-Карасевская 73	ЗК73	2784*	±0	50
Карандашовская 1	Кш1	2668	±2	44
Карандашовская 3	Кш3	2724	±1	43
Катыльгинская 91	Ка91	2640	±0	54
Корсеева 35	Крс35	2779	±0	55
Корсево-Мелимовская 1	К-М1	2960	±0	52
Крапивинская 225	Кра225	2787*	±1	52
Крапивинская 226	Кра226	2800*	±1	51
Лесмуровская 26	Лр26	2800*	±0	49
Лонтын-Яхская 59	ЛЯ59	2655	±0	55
Лонтын-Яхская 63	ЛЯ63	2624	±0	56
Мельничная 15	Мн15	2812	±0	54
Моисеевская 2	Мс2	2710	±0	54
Моисеевская 6	Мс6	2869	±0	53
Нижнепервомайская 1	Нп1	2700*	±1	49
Нововасюганская 1	Нв-В1	3004*	±1	39
Нововасюганская 51	Нв-В51	2854	±1	42
Озерная 71	О71	2891	±3	53
Озерная 73	О73	2826*	±1	54
Оленья 121	Ол121	2833	±2	53
Оленья 133	Ол133	2745*	±0	55
Оленья 136	Ол136	2728*	±0	55
Павловская 3	П3	2705*	±0	50
Первомайская 2281	П2281	2614*	±0	53
Первомайская 2287	П2287	2646*	±0	53
Поселковая 2	Пс2	2823*	±1	55
Поселковая 4	Пс4	3049	±0	53
Разрывно-Моисеевская 1	РМ-1	2700*	±1	54
Северо-Карасевская 66	СКр66	2736*	±0	47
Северо-Мелимовская 28	С-М28	2800*	±3	50
Северо-Моисеевская 30	СМ-30	2873	±0	50
Соломбальская 1	Сл1	2833*	±2	53
Соломбальская 2	Сл2	3079	±3	53
Столбовая 93	Стл93	3053	±0	56
Тагайская 2	Тг-2	2762*	±2	52
Тагайская 9	Тг-9	2895*	±3	52
Шахматная 1	Ша-1	2546	±0	52
Шахматная 2	Ша-2	2658	±3	46
Южно-Моисеевская 8	ЮМ8	2745	±0	52
Среднеvasюганский мегавал				
Айгольская 11	Ай11	2512	±3	50
Ай-Куланская 1	Айк1	3130	±0	43
Верхнесалатская 21	Вс21	2625	±1	52
Верхнесалатская 30	Вс30	2555*	±1	53
Верхнесалатская 31	Вс31	2525*	±2	52
Глухарина 1	Гл1	2920	±1	56
Кильсинская 380	Кл380	2692	±0	51
Кильсинская 381	Кл381	2655	±2	45
Колотушная 262	Ко-262п	2735*	±0	51
Колотушная 266	Ко-266	2650*	±0	53
Мыльджинская 1	Мы-1	2520	±1	44
Мыльджинская 3	Мы-3	2505*	±0	44
Мыльджинская 11	Мы-11	2691	±0	45
Мыльджинская 62	Мы-62	2508*	±0	42
Перкатская 9	Пер9	2658	±1	47
Пологая 1	Пол1	2610	±2	49
Пуглалымская 86	Пу86	2669	±3	52
Пуглалымская 88	Пу88	2528*	±0	52
Пуглалымская 89	Пу89	2550*	±0	47
Пуглалымская 90	Пу90	2705	±0	56
Северо-Васюганская 1	СВа1	2423	±2	50
Северо-Васюганская 2	СВа2	2515	±0	53
Северо-Васюганская 5	СВа5	2437*	±2	52
Северо-Васюганская 6	СВа6	2360*	±2	49
Северо-Васюганская 7	СВа7	2435*	±3	51

Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Сельская 1	Сел1	2693	±0	43
Средневасюганская 4	Св4	2370*	±2	53
Средневасюганская 19	Св19	2281*	±3	53
Средненюрольская 41	СрН41	2495*	±1	55
Средненюрольская 44	СрН44	2501*	±0	51
Средненюрольская 45	СрН45	2599	±0	55
Усть-Пуглалымская 51	У-П51	2591	±1	49
Чарымовская 80	Чр80	2759	±1	47
Южно-Ельцовая 1	Ю-Е1	2892	±2	53
Южно-Ельцовая 2	Ю-Е2	2900	±1	52
Южно-Мыльджинская 24	Ю-М24	2733	±1	53
Южно-Мыльджинская 27	Ю-М27	2855	±2	48
Южно-Мыльджинская 28	Ю-М28	2602	±2	52
Парабельский мегавыступ				
Белоярская 5	Бел5	2304	±3	70
Белоярская 6	Бел6	2314	±2	70
Боковая 1	Бк-1	2837	±0	44
Двойная 2	Дв2	2705	±0	55
Ельцовская 1	Ец1	2510	±0	50
Инкинская 11	Ин11	2371	±0	56
Каргасокская 1	К-1	2879	±2	51
Каргинская 1	Крг1	2581*	±0	53
Киндальская 440	Кн440	2732	±0	52
Колчанская 1	Кч1	2524	±0	42
Можанская 1	Мж1	2949	±2	50
Нарымская 3	Нр3	2691	±2	55
Овражная 16	Овр16	2610	±2	55
Снежная 133	Сн133	2576	±5	65
Снежная 135	Сн135	2630	±0	64
Торцовая 140	Тц140	2779	±0	54
Тростниковая 281	Тр281	2815	±0	48
Тростниковая 282	Тр282	2613*	±0	44
Ураловская 303	Ур303	3028	±2	51
Шудельская 211	Шу-211	2390	±0	55
Александровский свод				
Вахская 82	В82	2540	±0	61
Горстовая 90	Го90	2721	±0	63
Горстовая 91	Го91	2501	±0	57
Григорьевская 7	Гр-7	2470	±2	62
Западно-Назинская 95	З-Н95	2341	±0	64
Ильяжская 1	Ил1	2712	±2	55
Кондаковская 31	Ко31	2165	±0	72
Кондаковская 32	Ко32	2071	±1	74
Кондаковская 33	Ко33	2260	±0	70
Кондаковская 34	Ко34	2263	±0	68
Обская 1 (Конторовичевская)	Об1 (Кт1)	2515	±0	62
Обская 2 (Конторовичевская)	Об2	2388*	±0	62
Обская 3 (Конторовичевская)	Об3	2400	±0	63
Круглоозерная 1	Кр1	2482	±0	54
Надеждинская 14	На14	2679	±1	55
Назинская 1	Нз1	2592	±0	55
Назинская 2	Нз2	2289	±0	67
Назинская 4	Нз4	2303	±0	69
Назинская 7	Нз7	2116	±0	66
Поисковая 1	Пск1	2390	±1	58
Поисковая 2	Пск2	2432	±0	58
Полуденная 221	По221	2407	±4	60
Приграничная 5	Пг5	2410	±2	64
Приграничная 6	Пг6	2400*	±0	64
Приграничная 8	Пг8	2352*	±1	65
Трайгородская 3	Тг3	2352	±1	66
Трайгородская 5	Тг5	2349	±0	72
Чапаевская 1	Ча1	2466	±0	59
Чебачья 219	Чб219	2211	±0	65
Чебачья 220	Чб220	2380	±1	65
Южно-Охтеурская 411	Ю-О411	2438	±2	65

Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Южно-Охтеурская 415	Ю-О415	2249*	±0	64
Южно-Охтеурская 419	Ю-О419	2250*	±3	66
Нижневартовский свод				
Аленкинская 101	Ал101	2494*	±2	49
Аленкинская 103	Ал103	2747	±5	49
Кедровская 35	Кд35	2940	±1	53
Малореченская 117	Ма117	2593	±0	53
Малореченская 121	Ма121	2645	±1	50
Малореченская 122	Ма122	2500*	±0	52
Советская 20	Со20	2735	±0	61
Стрежевская 13	Ст13	2792	±0	52
Южно-Матюшкинская 40	Ю-М40	3017	±0	44
Пудинский мегавал				
Амурская 1	А-1	2940	±0	49
Армичская 1	Ар1	2900	±1	61
Боровая 2	Бо2	2545	±0	59
Верхнекомбарская 290	ВК290	2791	±1	59
Верхнекомбарская 294	ВК294	2764	±1	56
Герасимовская 444 (Западно-Останинская)	Ге444	2860*	±4	52
Герасимовская 12	Ге12	2840	±1	54
Герасимовская 18	Ге18	2890	±4	49
Герасимовская 6	Ге6	2870	±2	52
Герасимовская 7	Ге7	2740	±3	51
Горелоярская 1 (Средне-Парабельская)	ГЯ1	2435	±2	53
Горелоярская 4	ГЯ4	2531	±2	52
Горелоярская 5	ГЯ5	2574	±0	55
Западно-Лугинецкая 180	ЗЛ-180	2630	±0	51
Западно-Лугинецкая 181	ЗЛ-181	2710	±0	54
Западно-Лугинецкая 182	ЗЛ-182	2624	±0	51
Западно-Лугинецкая 183	ЗЛ-183	2685	±3	52
Западно-Останинская 440	З-О440	2750	±1	51
Западно-Останинская 447	З-О447	2790	±0	51
Мирная 413	Мир413	2810	±0	59
Мирная 414	Мир414	2650*	±2	53
Мирная 415	Мир415	2690*	±2	62
Ново-Сомовская 1	Н-С1	2823	±0	52
Останинская 424	Ост424	2880	±3	54
Останинская 425	Ост425	2825	±3	53
Останинская 428	Ост428	2750	±2	52
Останинская 438	Ост438	2750	±1	54
Останинская 452	Ост452	2895	±2	52
Останинская 453	Ост453	2576*	±0	55
Пинджинская 1	Пин1	2890	±0	61
Пинджинская 4	Пин4	2595*	±0	63
Пинджинская 5	Пин5	2885	±2	53
Рыбальная 405	Ры405	2590	±0	60
Рыбальная 406	Ры406	2550*	±0	62
Рыбальная 407	Ры407	2601*	±0	60
Рыбальная 408	Ры408	2590	±2	64
Рыбальная 410	Ры410	2618	±0	61
Северо-Калиновая 21	СК21	2916	±1	54
Северо-Калиновая 30	СК30	3056	±2	51
Северо-Лугинецкая 189	С-Л189	2528	±1	53
Северо-Останинская 1	С-О1	2645	±2	58
Северо-Останинская 11	С-О11	2790	±0	47
Северо-Останинская 7	С-О7	2790	±2	54
Северо-Останинская 8	С-О8	2840	±1	55
Северо-Останинская 9	С-О9	2800	±0	56
Селимхановская 2	Сел2	2430	±2	57
Селимхановская 4	Сел4	2649	±0	51
Селимхановская 5	Сел5	2480	±2	59
Сельвейкинская 2	Селв2	2900	±0	41
Сельвейкинская 3	Селв3	2800	±4	44
Сельвейкинская 4	Селв4	2810	±0	40
Чинжарская 2	Чи2	2462	±2	50



Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Юбилейная 404	Ю404	2511	±0	57
Переходная зона				
Александровская 1	А1	2592	±2	60
Александровская 10	А10	2800	±0	71
Амбарская 2	Ам2	2909	±0	46
Арчинская 45	Ар-45	3061	±0	48
Арчинская 50	Ар-50	3080	±2	46
Арчинская 51	Ар-51	3057	±2	49
Арчинская 54	Ар-54	3134	±1	47
Болтная 1	Б1	2645	±1	58
Болтная 3	Б3	2750	±1	55
Вартовская 330	Вт330	2651	±1	53
Вартовская 335	Вт335	2550	±0	49
Водораздельная 1	Во-1	3003	±1	44
Водораздельная 2	Во-2	2976	±0	46
Головная 352	Г352	2823	±2	55
Грушевая 211	Гр211	3208	±0	54
Грушевая 212	Гр212	2802*	±3	53
Грушевая 217	Гр217	3219	±0	51
Южно-Александровская 4 (Даненбергская)	Ю-А4	2801	±1	59
Южно-Александровская 6 (Даненбергская)	Ю-А6	2600*	±2	57
Двуреченская 12	Дв-12	2750*	±1	47
Двуреченская 13	Дв-13	2753*	±0	43
Двуреченская 15	Дв-15	2750*	±2	43
Еллей-Игайская 1	Е-И1	2970	±3	46
Еллей-Игайская 3	Е-И3	2994	±0	45
Еллейская 1	Ел-1	3010	±0	47
Еллейская 2	Ел-2	2729*	±0	47
Западно-Крыловская 1	ЗК1	3115	±0	52
Западно-Моисеевская 24	ЗМ-24	2751*	±0	49
Западно-Моисеевская 25	ЗМ-25	2750*	±1	48
Западно-Моисеевская 30	ЗМ-30	2765*	±1	48
Западно-Моисеевская 31	ЗМ-31	2780*	±0	46
Западно-Сомовская 9	З-С9	2870	±1	58
Заячья 50	За50	3329*	±3	50
Казанская 2	Каз2	2836	±2	49
Казанская 3	Каз3	2800	±3	50
Казанская 9	Каз9	2857	±2	50
Калиновая 1	К1	2870	±3	47
Калиновая 4	К4	2972	±0	45
Калиновая 10	К10	2830	±0	47
Калиновая 17	К17	3006	±0	46
Калиновая 22	К22	2985	±0	46
Калиновая 12	К12	2905	±0	47
Калиновая 2	К2	2907	±0	59
Калиновая 3	К3	2985	±2	46
Квартовая 3	Кв3	2988	±2	49
Квартовая 4	Кв4	3016	±0	47
Квартовая 7	Кв7	3020	±1	47
Квартовая 9	Кв9	3053	±0	48
Киев-Еганская 350	К-Е350	2920*	±0	51
Киев-Еганская 354	К-Е354	2664*	±1	57
Крыловская 1	КР1	2885	±0	52
Крыловская 2	КР2	2926	±2	54
Кулгинская 141	Ку141	3078	±2	46
Кулгинская 144	Ку144	3071	±0	46
Кулгинская 145	Ку145	3071	±1	49
Колтогорская 1 (на Куль-Еганской)	Кг1 (К-Е1)	3024	±0	54
Колтогорская 2 (на Куль-Еганской)	Кг2 (К-Е2)	3303	±1	52
Кыкинская 1	Кы1	2814	±0	57
Ледовая 1	Л1	3044	±1	48
Ледовая 2	Л2	2901*	±2	49
Ледовая 3	Л3	2850*	±1	48
Ледовая 6	Л6	2825*	±0	46

Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Ледовая 7	Л7	2750*	±0	46
Ледовая 8	Л8	2752*	±0	46
Лесная 206	Лс206	2897	±2	55
Линейная 1	Ли1	2702	±0	54
Линейная 2	Ли2	2709*	±0	54
Линейная 3	Ли3	2779	±0	52
Линейная 5	Ли5	2700*	±2	54
Ломовая 200	Ло200	2910	±2	55
Ломовая 203	Ло203	2805*	±0	57
Ломовая 204	Ло204	2853*	±0	54
Лосинская 1	Ло1	3001	±1	45
Лымжинская 1	Лм1	2987	±1	47
Матюшкинская 31	Мт31	2858	±1	51
Матюшкинская 36	Мт36	2842	±2	51
Мурасовская 20	Мур20	2700*	±3	50
Мурасовская 21	Мур21	2953	±3	52
Нижнетабаганская 1	Нт1	2990	±3	44
Нижнетабаганская 4	Нт4	2990	±1	47
Нижнетабаганская 5	Нт5	3005	±2	44
Нижнетабаганская 7	Нт7	3000	±2	47
Нижнетабаганская 8	Нт8	2971	±2	46
Нижнетабаганская 9	Нт9	3007	±2	44
Никольская 1	Н1	2649	±5	55
Никольская 2	Н2	2714	±0	55
Никольская 3	Н3	2713	±1	51
Ново-Никольская 1п	Н-Нк1пар	2948	±1	43
Олимпийская 151	Ол151	2765	±0	53
Олимпийская 156	Ол156	2500*	±0	52
Парбигская 1	Пар1	2742	±3	57
Парбигская 2	Пар2	2590	±0	63
Пельгинская 1	Пел1	3020	±0	50
Пельгинская 2	Пел2	3040	±0	45
Пельгинская 3	Пел3	2970	±1	50
Передовая 190	Прд190	2815	±0	47
Передовая 192	Прд192	2736	±0	52
Южно-Пионерская 265	ЮПн265	3198	±0	55
Приколтогорская 1	Пк1	3197	±0	53
Приколтогорская 2	Пк2	3290	±0	51
Приколтогорская 3	Пк3	3232	±0	55
Проточная 1	Пр1	2500*	±0	61
Проточная 2	Пр2	2766	±0	57
Проточная 7	Пр7	2570*	±0	57
Рабочая 1	Р1	2791*	±0	54
Речная 280	Ре-280	2906	±1	44
Речная 282	Ре-282	2862	±0	51
Саймовская 1	Са1	3437	±3	48
Северо-Сутыгинская 2	ССут2	3150	±0	52
Северо-Юлжавская 1	СЮ-1	3112	±0	45
Северо-Юлжавская 2	СЮ-2	3119	±3	41
Сенькинская 37	С37п	3048	±1	49
Склоновая 21	Ск21	3322	±1	55
Смоляная 1	См1	3040	±0	47
Смоляная 3	См3	2850*	±1	43
Смоляная 6	См6	2850*	±0	45
Соболиная 171	Соб171	2220*	±1	51
Соболиная 172	Соб172	2923	±2	50
Соболиная 173	Соб173	2863	±2	50
Солоновская 43	Сол43	2960	±0	50
Среднесоболиная 181	Ссб181	2628*	±2	53
Среднеюлжавская 10	Сю10	3045	±0	44
Ступенчатая 5	Сч5	2900	±1	44
Сутыгинская 1	Сут1	3142	±0	50
Таволгинская 1	Та1	2545	±1	50
Тамбаевская 1	Там-1	3046	±3	48
Тамбаевская 2	Там-2	3025	±0	53
Трассовая 315	Т315	2972	±3	47

Площадь (месторождение) и номер скважины	Условный индекс скважины	Мощность осадочного чехла, м	«Невязка» расчетных и измеренных геотемператур, °С	Расчетный тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Трассовая 316	Т316	2903	±0	46
Трассовая 317	Т317	2920	±0	52
Тунгольская 1	Ту1	2760*	±0	54
Урманская 1	У1	3061	±0	44
Урманская 2	У2	3086	±2	46
Усть-Тымская 1	У-Т1	2960	±2	48
Хвойная 6	Х6	2865*	±0	51
Хылькинская 1	Хы1	3060	±1	50
Чагвинская 1	Ча-1	2905	±3	50
Чкаловская 5	Чк5	2977	±1	49
Чкаловская 7	Чк7	2989	±0	50
Чкаловская 9	Чк9	2954	±0	50
Шингинская 296	Ши-296	2800*	±1	55
Шингинская 297	Ши-297	2875	±0	56
Широтная 51	Ш51	3058	±2	45
Широтная 53	Ш53	3070	±0	47
Эмторская 300	Эм300	2774	±0	53
Эмторская 303	Эм303	2605*	±1	54
Южно-Пионерская 263	ЮП263	3033	±1	54
Южно-Табаганская 130	Ю-Т130	3000	±2	51
Южно-Тамбаевская 78	Ют78	3038	±0	46
Южно-Урманская 1	Ю-У1	3147	±2	46
Южно-Урманская 2	Ю-У2	3200	±0	38
Южно-Черемшанская 337	ЮЧ337	3081	±0	53
Южно-Черемшанская 346	ЮЧ346	2800*	±1	53
Южно-Юганская 17	Ю-Юг17	3086	±2	50
Ясная 20	Я20	3042	±1	51
Ясная 21	Я21	2870	±1	52
Ясная 22	Я22	3074	±1	55
За пределами карты				
Ажарминская 450	Аж450	2941	±2	34
Береговая 1п	Б1п	2571	±1	50
Верхнекенгская 1	Вг1	2051	±0	50
Громовская 1	Гм1	2955	±0	34
Западная 1	З1	2981	±1	32
Кананакская 2	Кан2	2527	±0	38
Кананакская 3	Кан3	2176*	±2	39
Колпашевская 10	Кол10	2900	±2	48
Колпашевская 3	Кол3	2778	±2	52
Колпашевская 5	Кол5	2760	±2	51
Колпашевская 7	Кол7	2724	±2	47
Малочимулякская 1	Мч1	2680	±0	46
Мартовская 430	Мр430	2895	±1	44
Мартовская 431	Мр431	2899	±1	36
Нягинская 1	Ня1	2667	±2	36
Пайдугинская 1	Пай-1	2487	±3	41
Песочно-Дубровская 2	ПД2	992	±0	50
Пульсецкая 40	Пл40	2757	±1	43
Северо-Колпашевская 81	С-К81	2585	±0	51
Семиречная 1	Ср1	2674	±1	37
Сибкраевская 370	Сиб370	2865	±1	49
Тымская 1	Т1о	2916	±2	50
Чимулякская 1	Чм1	2494	±0	46

\*вскрытая мощность осадочного чехла.

**Krutenko D.S.**

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, [dskrutenko@gmail.com](mailto:dskrutenko@gmail.com)

## THE HEAT FLOW PROPERTIES AND PETROGRAPHICALLY COMPOSITION OF THE PALEOZOIC BASEMENT (THE SOUTH-EASTERN PART OF WESTERN SIBERIA)

*This paper continues comprehensive research on the reasons of heat flow variations in the South-Eastern part of Western Siberia. The purpose of the study is to identify qualitatively and quantitatively the relationship between the heat flow properties and petrographically composition of the basement, which is characterized by specific thermophysical properties – thermal conductivity and radioactive heat production.*

*The values of heat flow from the basement are calculated in 433 exploration wells. The sketch map of heat flow density in the west of Tomsk Region is built on the base of this data.*

**Keywords:** *heat flow variations, petrographically composition of the basement, thermal conductivity, density of radioactive heat generation, the west of Tomsk Region, South-Eastern part of Western Siberia.*

### References

*Atlas. Geologiya i neftegazonosnost' Hanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga* [Atlas. Geology and petroleum potential of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug]. Khanty-Mansiysk, Autonomous institution of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug V.I. Shpilman research and analytical centre for the rational use of the subsoil, 2004, 148 p.

Bradski G., Kaehler A. *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. Sebastopol, O'Reilly Media, Inc, 2008, 556 p.

Brekhtunsov A.M., Monastirev B.V., Nesterov I.I. (Jr.). Distribution patterns of oil and gas accumulations in Western Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 8, pp. 781-791.

Cermak V., Huckenholz H.G., Rybach L., Schmid R., Schopper J.R., Schuch M., Stoffler D., Wohlenberg J. *Physical properties of rocks. Landolt-Boernstein, Numerical data and functional relationships in Science and Technology, Group V: Geophysics and Space Research*, 1982, pp. 305-370.

Duchkov A.D., Sokolova L.S., Ayunov D.E. *RID «Baza dannyh teplovyh svoystv gornyh porod Sibirskogo regiona RF»* [RID "Database of thermal properties of rocks in Siberian region of Russia]. Registration certificate no. 2017621489 in 15.12.2017, 2017.

Hantschel T., Kauerauf A.I. *Fundamentals of basin and petroleum systems modeling*. Heidelberg, Springer, 2009, 476 p.

Hasterok D., Gard M., Webb J. On the radiogenic heat production of metamorphic, igneous, and sedimentary rocks. *Geoscience Frontiers*, 2018, vol. 9, no. 6, pp. 1777-1794.

Isaev V.I. *Paleotemperature modeling of the sedimentary section, and oil-and-gas generation*. *Geology of the Pacific Ocean*, 2004, vol. 23, no 5, pp. 101-115.

Isaev V.I., Krutenko D.S., Lobova G.A., Osipova E.N., Starostenko V.I. *Kartirovanie teplovogo potoka Zapadnoy Sibiri (yugo-vostok)* [Mapping of Western Siberian heat flow (southeast)]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2021, vol. 43, no. 6, pp. 173-195.

Isaev V.I., Lobova G.A., Mazurov A.K., Starostenko V.I., Fomin A.N. *Rayonirovanie megavpadin yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri po plotnosti resursov slancevoy nefti togurskoy i bazhenovskoy materinskih svit* [Zoning of mega-depressions by shale oil generation density of Togur and Bazhenov source rocks Formations in the southeast of Western Siberia]. *Geologiya nefti i gaza*, 2018, no. 1, pp. 49-73.

Isaev, V.I., Lobova, G.A., Fomin, A.N., Bulatov, V.I., Kuzmenkov, S.G., Galieva, M.F., Krutenko, D.S. *Teplovoy potok i neftegazonosnost' (p-ov Yamal, Tomskaya obl.)* [Heat flow and presence of oil and gas (the Yamal peninsula, Tomsk region)]. *Georesursy*, 2019, vol. 21, no. 3,



pp. 125-135.

*Karta veshhestvennogo sostava domezozojnskogo osnovaniya. Masshtab 1:1 000 000* [Map of the pre-Mesozoic petrographically composition. Scale 1:1 000 000]. Ed. A.E. Kontorovich, 2001.

Khutorskoy M.D. *Vvedenie v geotermiyu: kurs lekciy* [Introduction to Geothermy: lecture course]. Moscow: RUDN Publ., 1996, 156 p.

Kontorovich V.A. *Tektonika i neftegazonosnost mezozoyско-kaynozoyских otlozheniy yugo-vostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Tectonics and oil and gas potential of the Mesozoic and Cenozoic rocks in the south-eastern part of Western Siberia]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2002, 253 p.

Krutenko D.S., Isaev V.I., Kuzmenkov S.G. *Teplovoy potok, triasovaya riftovaya sistema i mezozoyско-kaynozoyские razlomy (yugo-vostok Zapadnoy Sibiri)* [Heat flow, Triassic rift system and Mesozoic-Cenozoic faults (south-east of Western Siberia)]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2021, vol. 16, no. 2, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2021/19\\_2021.html](http://www.ngtp.ru/rub/2021/19_2021.html). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/19\\_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2021)

Kurchikov A.R. *Gidrogeotermicheskie kriterii neftegazonosnosti* [Hydrogeothermal criteria of oil and gas potential]. Moscow, Nedra, 1992, 231 p.

Lunyova T.E. *Zonal'noe rayonirovanie doyurskogo neftegazonosnogo kompleksa s ispol'zovaniem dannyh geotermii (promyslovye rayony Tomskoy oblasti)* [Zoning of the pre-Jurassic petroleum bearing play using geothermal data (industrial areas of Tomsk Region): PhD Diss. Abstract] Avtoreferat na soiskanie uch. st. k. g.-m. n. Tomsk, 2020, 24 p.

Macgregor D.S. Regional variations in geothermal gradient and heat flow across the African plate. *Journal of African Earth Sciences*, 2020, vol. 171, pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103950>

Mather B., McLaren S., Taylor D., Roy S., Moresi L. Variations and controls on crustal thermal regimes in Southeastern Australia. *Tectonophysics*, 2018, vol. 723, pp. 261-276.

*Petrofizika: Spravochnik. V treh knigah. Kniga pervaya. Gornye porody i poleznye iskopaemye* [Petrophysics: Manual. In three books. The first book. Rocks and natural resources]. Ed. N.B. Dortman. Moscow, Nedra, 1992, 391 p.

Smyslov A.A., Moiseenko U.I., Chadovich T.Z. *Teplovoy rezhim i radioaktivnost' Zemli* [Thermal regime and radioactivity of the Earth]. Leningrad, Nedra, 1979, 191 p.

Starostenko V.I., Kutas R.I., Shuman V.N., Legostaeva O.V. Generalization of the Rayleigh-Tikhonov stationary geothermal problem for a horizontal layer. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2006, vol. 42, no. 12, pp. 1044–1050.

Surkov V.S., Zhero O.G. *Fundament i razvitie platformennogo chekhla Zapadno-Sibirskoy plity* [The basement and platform development of Western Siberian Plate]. Moscow, Nedra, 1981, 143 p.

© Крутенко Д.С., 2022

