

Е. В. Пономарева^{1✉}, С. В. Рыжкова¹, А. А. Дешин²

Оценка плотности эффективного палеотеплового потока в Колтогорско-Нюрольской зоне

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука, г. Новосибирск, Российская Федерация,

²Группа компаний «Газпром нефть»

e-mail: PonomarevaEV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Построены одномерные численные модели отложений осадочного чехла в 12 скважинах Колтогорско-Нюрольской зоны. Выполнена калибровка тепловой истории отложений и оценена величина плотности эффективного палеотеплового потока в основании осадочного чехла. Интервал значений плотности составляет от 40 до 63 мВт/м². За время температурной истории отложений резкое снижение величины эффективного теплового потока происходило 170, 140 и 40 млн лет назад. Этим же периодам соответствуют максимальные скорости осадконакопления, выявленные при моделировании по скважинам. На территории исследования на фоне средних значений порядка 50 мВт/м² выделяются аномалии с повышенными значениями 54-60 мВт/м² (центральные районы Нюрольской мегавпадины), и с пониженными – 42-46 мВт/м² (западные районы от Колтогорско-Нюрольской зоны и Колтогорский мезопрогиб).

Ключевые слова: палеотепловой поток, бассейновое моделирование, Западная Сибирь, Колтогорско-Нюрольская зона

E. V. Ponomareva^{1✉}, S. V. Ryzhkova¹, A. A. Deshin²

Estimation of the effective paleo-heat flow density in the Koltogor-Nyurol'ka zone

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Gazprom Neft.

e-mail: PonomarevaEV@ipgg.sbras.ru

Abstract. One-dimensional numerical models for sedimentary-cover deposits in 12 wells in the Koltogor-Nyurol'ka zone were constructed. The thermal history of the deposits was calibrated, and the effective paleo-heat flow density at the base of the sedimentary cover was estimated. The density ranges from 40 to 63 mW/m², averaging 50 mW/m². Within the study area, high densities of 54-60 mW/m² have been established in the central areas of the Nyurol'ka megadepression, and low densities of 42-46 mW/m², in the western areas of the Koltogor-Nyurol'ka zone and the Koltogor mesotrough. During the thermal history of the deposits, the effective heat flow drastically decreased 170, 140, and 40 Ma. The maximum sedimentation rates estimated during the well modeling correspond to the same time periods.

Keywords: paleo heat flow, basin modeling, West Siberia, Koltogor-Nyurol'ka zone

Введение

При прогнозировании объемов генерации УВ нефтегазопроизводящими толщами важная роль принадлежит изучению геотемпературной истории региона.

Преобразование органического вещества в катагенезе происходит за счет тепловой энергии под действием теплового потока, идущего из верхней мантии, и радиогенного тепла в осадочном чехле и основании. Оценка величины палеотеплового потока, наряду с изучением распределения пластовых температур и поровых давлений, необходима для построения достоверной термобарической модели осадочного чехла при выполнении бассейнового моделирования [1].

Изучением геотермического режима недр Западно-Сибирской нефтегазональной провинции занимались А.Д. Дучков, Н.М. Кругликов, Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков и др. Согласно карте глубинного теплового потока Западной Сибири [2], на территории южных районов провинции плотность теплового потока изменяется от 40 до 85 мВт/м². Распределение значений плотности теплового потока из основания осадочного чехла с целью выявления очагов генерации углеводородов в Нюрольской мегавпадине рассмотрено в работах Е.Н. Осиповой, В.И. Исаева, А.Н. Фомина и др. Этими авторами показано, что залежи с промышленными запасами в палеозойских отложениях приурочены к выраженной градиентной зоне величины теплового потока [3, 4; и др.]. Отмечена зависимость интенсивности генерации в разных частях мегавпадины и прилегающих структур от приуроченности к зонам развития триасовых грабен-рифтов [5].

Территория исследования находится на западе и северо-западе Томской области. Колтогорско-Нюрольская зона рассматривается в границах Нюрольской мегавпадины и Колтогорского мезопрогиба – отрицательных структур первого и второго порядка соответственно. Объектом исследования являются отложения осадочного чехла в разрезах 12 глубоких скважин, вскрывших доюрское основание.

Этаж нефтегазональности характеризуется широким диапазоном отложений от меловых (многочисленные продуктивные пласты А, Б, Ач (куломзинская, тарская, вартовская, алымская, киялинская, ванденская свиты)) до юрских (горизонты Ю₄, Ю₆ (тюменская свита), горизонт Ю₁ (васюганская свита), Ю₁⁰ (георгиевская свита), Ю₀ (баженовская свита)), включая нефтегазональный горизонт зоны контакта мезозоя и палеозоя. Основной нефтегазопроизводящей толщей на изученной территории признана баженовская свита.

Согласно данным В.А. Конторовича [6] формирование Колтогорского мезопрогиба началось в коньяк-кайнозойский этап развития в результате воздымания юго-восточных районов Западно-Сибирской геосинеклизы. Этот процесс сопровождался активным прогибанием Колтогорского мезопрогиба, с образованием примыкающих к депрессии вытянутыми положительными структурами – мезовалами, которые не унаследовали эрозионно-тектонические выступы фундамента, а имели инверсионную природу.

На территории прослеживаются раннепалеозойские грабен-рифты северо-восточного простираения [7]. Влияние их на геотемпературное поле Западной Сибири в работе разных авторов оценивается неоднозначно [2].

Цель работы – реконструировать температурную историю отложений осадочного чехла и уточнить региональную схему глубинного палеотеплового потока на территории Колтогорско-Нюрольской зоны.

Методы и материалы

Фактическими данными являлись результаты исследований юго-восточных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, полученные в ИНГГ СО РАН: разбивки отложений мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, литология стратиграфических интервалов, включающая информацию о содержании аргиллитов (глин), алевролитов, песчаников (песков), угольного и карбонатного вещества, набор сеточных моделей структурных поверхностей, определения отражательной способности витринита (данные А.Н. Фомина).

Методика. Реконструкция тепловой истории выполнялась с помощью одномерного моделирования в программно-методическом комплексе Temis Flow. Описание математического аппарата детально приводится в работах Т. Hantschel, I.A. Kauerauf, [8], Ю.И. Галушкина [9] и других авторов. В качестве вводных параметров для расчета температуры прогрева отложений использовалась плотность теплового потока на нижней границе верхней мантии. Для калибровки модели было принято условие действия постоянного теплового потока. Его значение вычислялось в результате подбора удовлетворительного соответствия фактических и расчетных значений отражательной способности витринита (R_o) в разрезах изучаемых скважин. Для изучения тепловой истории отложений на протяжении геологического времени используется эффективная плотность палеотеплового потока, которая характеризуется количеством тепла, проходящим за единицу времени через единицу поверхности фундамента.

На начальном этапе исследования была построена численная структурно-литологическая модель осадочного чехла с заданными базовыми литотипами в каждой точке разреза. Модель ограничена сверху поверхностью современного рельефа, снизу – подошвой осадочного чехла. На основе полученной модели, с учетом уплотнения пород, была восстановлена история развития мезозойско-кайнозойских отложений на территории исследования.

Следующим этапом, используя результаты замеров в каждой скважине современных температур и определений R_o , была построена термобарическая модель, описывающая восстановление тепловой истории осадочного чехла.

Результаты и обсуждение.

На территории исследования разрез осадочного чехла представлен отложениями четвертичной системы, неогена, палеогена, мела, верхней, средней и нижней юры, залегающих на отложениях палеозойского и триасового возраста. Толщина чехла изменяется от 3200 м до 3440 м в пределах Колтогорского мезопргиба, а в Нюрольской мегавпадине – от 3190 м до 3560 м. Базовые литологические типы пород, свойства которых были взяты из программного обеспечения Temis Flow и получены в результате петрофизических исследований керна скважин Западной Сибири, представлены преимущественно алевролитами и песчаниками, их суммарная доля в разрезе достигает 80%, аргиллитами – до 10%, опоками, известняками и углями.

Согласно полученной структурно-литологической модели на территории исследования скорость седиментации не была равномерной на протяжении геологического времени и диапазон ее значений в некоторые временные периоды кардинально отличался для северных и южных районов: от нескольких десятков метров до 120-160 м/млн лет на юге (Нюрольская мегавпадина), и до 600 м/млн лет – на севере (Колтогорский мезопргиб). Такая разница в значениях скорости может быть объяснима тем, что территория Колтогорского мезопргиба оказалась, по-видимому, вовлечена в унаследованное погружение северной части геосинеклизы (центральная часть и Ямало-Карская региональная депрессия), которое началось в ранний мел-туронское время и происходило на протяжении последующего времени до кайнозойской эры [6, 10].

В результате одномерного численного моделирования для каждой скважины была получена кривая становления эффективного палеотеплового потока на границе основания (Рис. 1) Величина плотности потока на территории изменялась от 40 до 64 мВт/м².

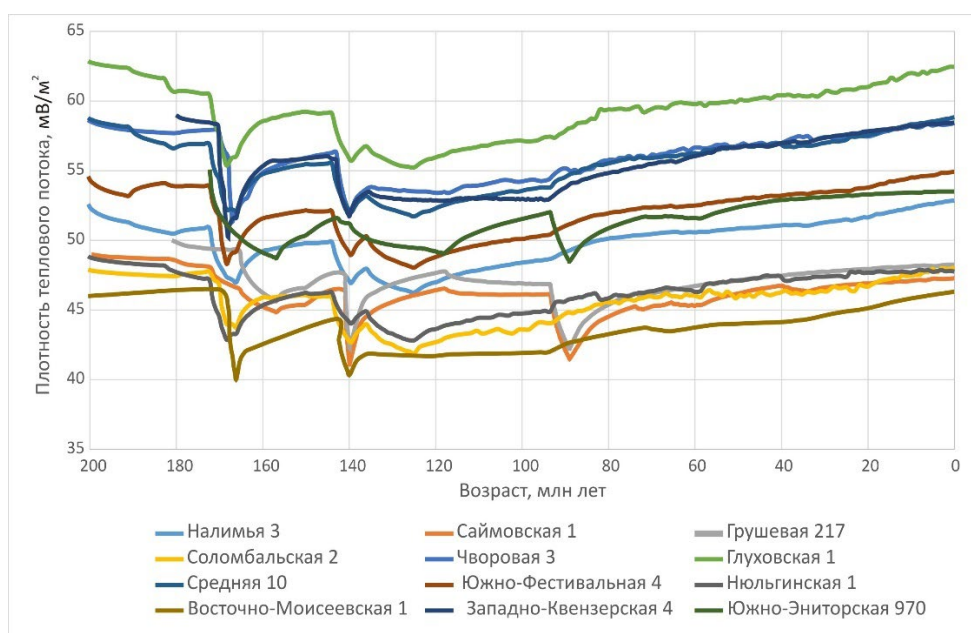


Рис. 1. Изменение плотности эффективного палеотеплового потока на границе основания осадочного чехла во времени.

Максимальные значения палеотеплового потока на протяжении всей истории развития осадочного чехла отмечаются в районе скважин: Глуховской-1, Чворовой-3, Средней-10 и Западно-Квензерской-4, причем в районе Глуховской площади величина потока не снижалась ниже 55 мВт/м². Минимальные значения выявлены в скважинах: Восточно-Моисеевская-1, Соломбальская-2, Ньюльгинская-1. Здесь значения не повышались более 47-48 мВт/м².

Величины палеотеплового потока, выявленные по скважинам, на момент начала образования осадочного чехла и в настоящее время примерно сопоставимы, но на протяжении геологической истории несколько раз происходило

снижение интенсивности теплового потока. На всей территории исследования резкое снижение значений (примерно на 10 мВт/м^2) первый раз произошло на короткое время (около 10 млн лет) 170 млн лет назад (байосский век) в пределах Нюрольской мегавпадины, в то время как севернее, в Колтогорском мезопргибе это снижение произошло чуть позднее и не имело такой большой амплитуды. Следующее изменение интенсивности палеотеплового потока произошло 140 млн лет назад (начало валанжинского века) на длительное время (около 60 млн лет) для южных районов и на короткое время (около 10 млн лет) – для северных. В последующее время в пределах Нюрольской мегавпадины происходило медленное повышение (восстановление) величины теплового потока, в то время как в Колтогорском мезопргибе был еще один значительный непродолжительный (около 15 млн лет) спад интенсивности теплового потока 90 млн лет назад. На эти же временные периоды максимального снижения величины палеотеплового потока приходятся пики максимальных скоростей осадконакопления.

Средние значения величины палеотеплового потока за время формирования осадочного чехла на территории исследования приведены в Таблице.

Согласно полученной карте распределения величины палеотеплового потока (Рис. 2), повышенные значения $54\text{--}60 \text{ мВ/м}^2$ приурочены к центру и северо-востоку Нюрольской мегавпадины, минимальные (42 мВ/м^2) – к западной и юго-западной окраине мегавпадины. Значения порядка 45 мВ/м^2 выявлены в пределах Колтогорского мезопргиба и на северо-западе территории исследования.

Заключение

Анализ данных, полученных в результате построений взаимосвязанных моделей, позволил оценить плотность эффективного палеотеплового потока на территории исследования на протяжении геологической истории формирования осадочного чехла. Интервал значений плотности изменялся от 40 до 63 мВт/м^2 .

Таблица 1. Осредненная по времени плотность эффективного теплового потока на границе основания осадочного чехла

№ п.п.	Скважина	Средняя плотность эффективного теплового потока, mW/m^2
1	Южно-Эниторская 970	50.7
2	Саймовская 1	45.2
3	Грушевая 217	46.1
4	Чворовая 3	56.0
5	Средняя 10	55.7
6	Южно-Фестивальная 4	51.9
7	Глуховская 1	59.7
8	Западно-Квензерская 4	54.5
9	Соломбальская 2	45.6
10	Налимья 3	49.8
11	Нюльгинская 1	46.1
12	Восточно-Моисеевская 1	42.7

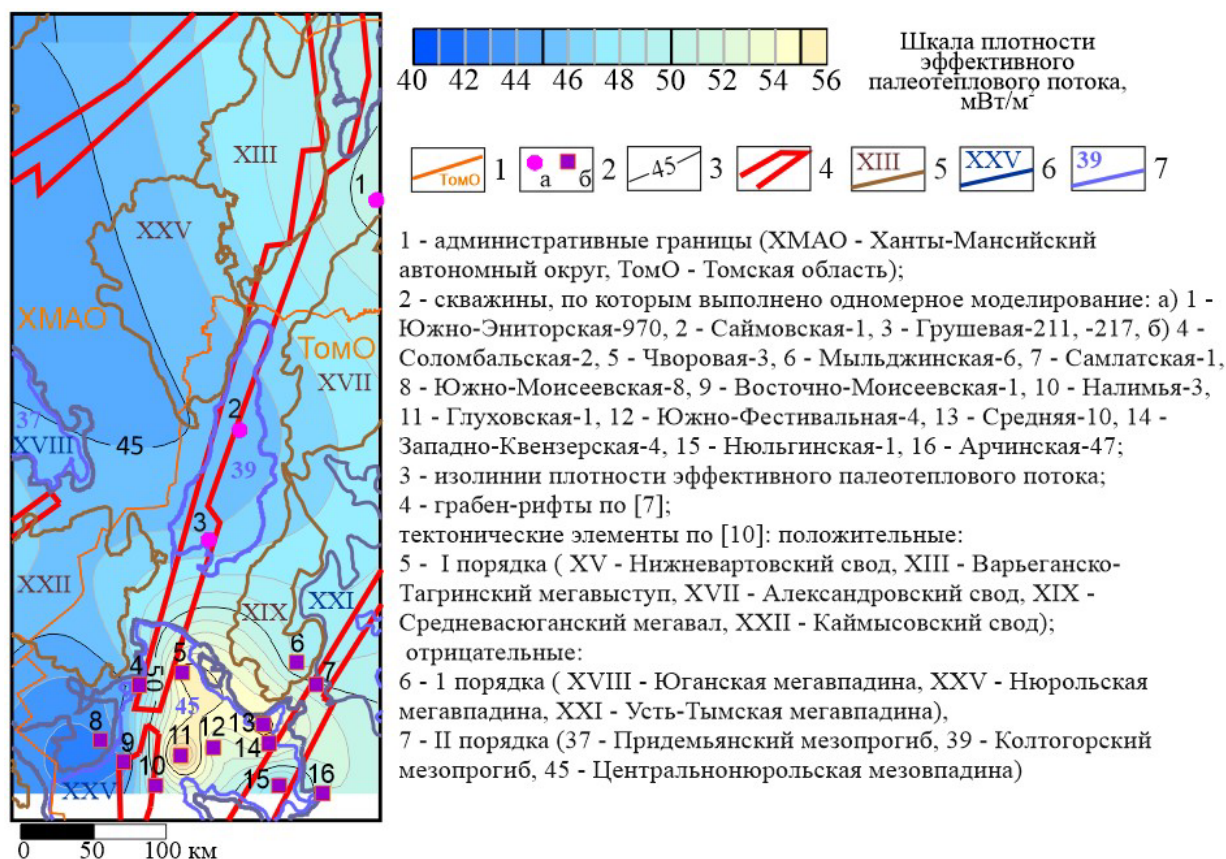


Рис. 2. Карта распределения величины эффективного палеотеплового потока.

Выделяются два различных типа конфигурации кривых становления теплового потока, один тип приурочен к скважинам Нюрольской мегавпадины, второй – Колтогорскому мезопрогибу. Отмечаются три периода значительного (до 10 мВт/м²) снижения интенсивности теплового потока – 170, 140 и 90 млн лет назад, к этому же времени относятся пики максимальных скоростей осадконакопления.

Таким образом, при одномерном моделировании в Колтогорско-Нюрольской зоне была уточнена региональная схема распределения величины эффективного теплового потока. Было выявлено, что фоновые для территории значения составляют около 50 мВт/м². Повышенные значения порядка 54-60 мВт/м² приурочены к центральным и юго-восточным районам Нюрольской мегавпадины, пониженные – к Колтогорскому мезопрогибу и юго-западным районам.

Благодарности

Исследование финансировалась за счет средств бюджета организации в рамках выполнения проектов FWZZ-2026-0048, FWZZ-2026-0045 ИНГТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конторович А.Э., Бурштейн Л. М., Малышев Н. А., Сафронов П.И., Гуськов С.А., Ершов С.В., Казаненков В.А., Ким Н.С., Конторович В.А., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Лившиц В.Р., Поляков А.А., Скворцов М.Б. Историко-геологическое моделирование

- процессов нефтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1179-1226.
2. Курчиков А.Р. Геотермический режим углеводородных скоплений Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42 (11-12). – С. 1846-1853.
3. Осипова Е.Н., Пракойо Ф.С., Исаев В.И. Реконструкция геотермической истории нефтематеринской баженовской свиты и оценка распределения плотности ресурсов в шельфовом резервуаре неокома Нюрольской мегавпадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – № 2. – http://www.ngtp.ru/rub/4/22_2014.pdf
4. 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 (полуостров Ямал, Томская область) // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 125-135.
5. Рыжкова С.В., Дешин А.А. Восстановление истории генерации нефти органическим веществом баженовской свиты северной части Нюрольской мегавпадины (Западная Сибирь) // Нефтегазовая геология. Теория и практика – 2023 – Т.18. – №4. – http://www.ngtp.ru/rub/2023/47_2023.html
6. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СОРАН, филиал «ГЕО», 2002. 253 с.
7. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты – Москва: Недра, 1981. – 143 с.
8. Hantschel T., Kauerauf A.I. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling. Springer, Berlin, 2009. 476 p.
9. Галушкин Ю.И. – М.: Научный мир, 2007. – 455 с.
10. Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. Тектоническое строение и история тектонического развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – №11. –12. – С. 1832-1845.

© Е. В. Пономарева, С. В. Рыжкова, А. А. Дешин, 2026