

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ИСКОРКИНА АЛЬБИНА АЛЬБЕРТОВНА

**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОГО КЛИМАТА НА
РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ
СВИТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГО-ВОСТОКА И СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор геолого-минералогических наук
В.И. ИСАЕВ

ТОМСК
2017

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ, РЕАЛИЗАЦИЮ ИХ ГЕНЕРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА.....	8
2 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЮЖНО-СИБИРСКОЙ ЗОНЫ.....	12
2.1 Обобщение экспериментальных данных и построение мезозойско- кайнозойского векового хода температур на земной поверхности	12
2.2 Неоплейстоценовые вечномерзлые породы	17
3 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ ЗОНЫ	19
3.1 Обобщение экспериментальных данных и построение мезозойско- кайнозойского векового хода температур на земной поверхности	19
3.2 Обобщение экспериментальных данных и построение векового хода плиоцен- четвертичных толщ вечномерзлых пород	29
4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ	36
5 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ СВИТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ТОМСКАЯ И НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТИ)	44
5.1 Характеристика объектов исследований	44
5.2 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Лугинецкого месторождения	48
5.3 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала тогурских и баженовских нефтематеринских отложений Северо-Фестивального месторождения	57
5.4 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Верх-Тарского месторождения	66
5.5 Сопоставление и обсуждение результатов	72
5.6 Выводы.....	75
6 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕФТЕМАТЕРИНСКОЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (П- ОВ ЯМАЛ)	77
6.1 Характеристика объектов исследований	77
6.2 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Арктического месторождения	81

6.3	Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Средне-Ямального месторождения	88
6.4	Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Ростовцевского месторождения	94
6.5	Сопоставление и обсуждение результатов	100
6.6	Выводы.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		104
ЛИТЕРАТУРА.....		107

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

В рамках новой парадигмы развития сырьевой базы углеводородов РФ главными объектами изучения и поисков становятся арктические районы Западной Сибири и сланцевые ресурсы баженовской свиты (Конторович, 2016).

Количественная оценка перспектив нефтегазоносности регионов и крупных зон нефтегазонакопления выполняется объемно-генетическим методом – бассейновое моделирование. Количество генерированных УВ определяется на основе реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений (Tissot, 2003; Лопатин, 2006; Галушкин, 2007; Попов, Исаев, 2011; Конторович и др., 2013; Nelskamp et al., 2014).

Регионы Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции имеют уникальные палеоклиматические особенности: 1) мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на земной поверхности, индивидуальный для региональных палеоклиматических зон; 2) разномасштабные процессы формирования и деградации неоплейстоценовых толщ вечномерзлых пород; 3) зонально и периодические формирующиеся позднечетвертичные ледниковые покровы. В плейстоцене произошло резкое похолодание, что могло приводить к снижению, нестационарности температурного поля во всем осадочном разрезе (Курчиков, 2001).

Объектом настоящих исследований является история геотермических условий нефтематеринских отложений месторождений Западной Сибири.

Степень разработанности темы

Накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние факторов палеоклимата на температурный режим осадочно-вулканогенных и магматических комплексов (Kukkonen et al., 1997; Голованова и др., 2014; Демежко, Горностаева, 2014; Vogt et al., 2014). Опубликованы работы, показывающие влияние мезозойско-кайнозойского векового хода температур на термическую историю непосредственно нефтематеринских отложений (Исаев и др., 2009; Лобова и др., 2013).

Ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири, учитывают вековой ход температур на поверхности Земли (Галушкин и др., 2009; Хуторской и др., 2011 и др.). Этот вековой ход температур можно условно назвать «стандартным». Определение влияния мезозойско-кайнозойского векового хода температур и неоплейстоценовой толщи мерзлоты на реконструкции геотермического режима, на оценку степени реализации генерационного потенциала нефтематеринских

отложений Западной Сибири, с учетом особенностей региональных палеоклиматических зон – **цель настоящих исследований.**

В диссертационной работе решалась следующая научная задача – исследовать влияние мезозойско-кайнозойского хода температур на поверхности Земли, вечномёрзлых пород на геотермический режим и реализацию генерационного потенциала юрских нефтематеринских отложений юго-востока и арктического региона Западной Сибири.

Решение задачи разделено на следующие этапы: 1) обобщение, географическая и геохронологическая увязка известных экспериментальных данных о климатических температурах в мезозое-кайнозое и о мощностях мерзлых пород миоцена-плиоцена, определение «местного» (юго-восток), «арктического» (арктическая зона) векового хода температур и векового хода мощностей мерзлых пород; 2) систематизация, параметризация геолого-геофизических данных, компьютерное моделирование термической истории нефтематеринских отложений; 3) дифференцированная оценка влияния палеоклиматических факторов на геотермическую историю и степень реализации генерационного потенциала баженовских и тогурских отложений.

Научная новизна работы

1. Построен «местный» вековой ход температур в мезозое-кайнозое на поверхности Земли для южно-сибирской палеоклиматической зоны.
2. Построен «арктический» вековой ход температур в мезозое-кайнозое, вековой ход мощностей многолетнемерзлых пород для северо-сибирской палеоклиматической зоны.
3. Получены количественные оценки влияния палеоклимата на термическую историю и реализацию генерационного потенциала юрских нефтематеринских свит.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Показана значимая роль мезозойско-кайнозойского климата в реконструкциях термической истории материнских отложений, формирующих юрско-меловые нефтегазоносные комплексы Западной Сибири.
2. Результаты исследований по оценке и учету факторов палеоклимата позволили дать рекомендации как адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских отложений, а, следовательно, повысить достоверность подсчета ресурсов УВ объемно-генетическим методом.

Методология и методы исследования

Методологической основой исследований является фундаментальная модель процессов нефтегазообразования Н.Б. Вассоевича и А.Э. Конторовича, определяющая геотемпературы вхождения материнских пород в главную зону нефтеобразования.

Основным звеном методики исследований является метод палеотемпературного моделирования, учитывающий факторы палеоклимата, параметры седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи (Исаев, Старостенко, 2004; Исаев и др., 2016). Применение геотермии, как поискового метода, находит отражение в исследованиях Р.В. Валиуллина, О.В. Веселова, Ю.И. Галушкина, И.В. Головановой, П.Ю. Горнова, Д.Ю. Демежко, А.Д. Дучкова, В.И. Ермакова, В.И. Зуя, А.Э. Конторовича, А.Р. Курчикова, Р.И. Кутаса, Н.В. Лопатина, Д.К. Нургалиева, В.А. Скоробогатова, В.И. Старостенко, А.Н. Фомина, Д.А. Христофоровой, М. Д. Хуторского и других ученых.

Положения, выносимые на защиту

1. Построенный «местный» мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на земной поверхности и принятая 300-метровая толща неоплейстоценовых вечномерзлых пород южно-сибирской палеоклиматической зоны позволяют адекватно восстановить термическую историю *тогурских и баженовских нефтематеринских отложений месторождений юго-востока Западной Сибири*. При учете зональных палеоклиматических факторов время нахождения материнских свит в главной зоне нефтеобразования увеличивается до 2-х раз, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 11–14°C, в случае неучета – ресурсы углеводородов, рассчитанные объемно-генетическим методом, могут быть существенно занижены.

2. Построенный «арктический» мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на земной поверхности и установленная динамика 300-600-метровой плиоцен-четвертичной толщи вечномерзлых пород северо-сибирской палеоклиматической зоны позволяют адекватно восстановить термическую историю *баженовских нефтематеринских отложений месторождений арктического региона Западной Сибири*. При учете зональных палеоклиматических факторов геологическое время нахождения материнской свиты в главной зоне нефтеобразования увеличивается на 50% и более, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 10–13°C, в случае неучета – ресурсы углеводородов, рассчитанные объемно-генетическим методом, могут быть заметно занижены.

Степень достоверности результатов

1. Сопоставления максимума расчетных геотемператур с температурами, определенными по ОСВ, и расчетных геотемператур с пластовыми, показали оптимальную согласованность.
2. Значения плотности теплового потока, рассчитанные палеотемпературным моделированием, согласуются с его экспериментальными определениями.
3. Очаги интенсивной генерации УВ, выявленные по палеогеотемпературному критерию, согласуются с данными бурения.

Апробация результатов исследования

Основные результаты докладывались на Международном семинаре «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей им. Д.Г. Успенского» (Екатеринбург, 2014; Пермь, 2015; Москва, 2016); на Международном симпозиуме им. М.А. Усова (Томск, 2014, 2015, 2016); на научных чтениях памяти Ю.П. Булашевича (Екатеринбург, 2013). Основные положения научной работы изложены в 28 публикациях диссертанта, в том числе 5 статей в журналах перечня ВАК.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д. г.-м. н. В.И. Исаеву. Автор признателен академику НАН Украины В.И. Старостенко, рекомендовавшему к публикации основные результаты исследований. Автор благодарит д. г.-м. н. Г.А. Лобову и д. г.-м. н. А.Н.Фомина – консультантов и коллег по совместным исследованиям. Автор благодарит профессора А.К. Мазурова за поддержку работы в ТПУ, руководителя Томскнедра А.В. Комарова и научного руководителя ИНГГ СО РАН академика А.Э. Конторовича за предоставленную возможность использовать фондовые геолого-геофизические и геохимические данные.

Диссертационные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00080 мол_а.

1 ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ, РЕАЛИЗАЦИЮ ИХ ГЕНЕРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Палеорекострукции и прогноз изменения природной среды – многовековая проблема, занимающая умы естествоиспытателей. В последние два столетия эта многогранная проблема в полной мере присуща и исследованиям состояния литосферы, ее минеральных и энергетических ресурсов. В начале прошлого века А. Вегенер [1] одним из первых выполнил палеоклиматические реконструкции для решения геологических задач (обоснования гипотезы перемещения литосферных плит), а М. Миланкович [2] создал математическую (астрономическую) теорию колебаний климата.

Результаты палеоклиматических реконструкций, восстанавливающие вековой ход изменения давления, влажности и температур на поверхности Земли, используются для прогноза размещения гипергенных месторождений полезных ископаемых. Выполняются прогнозы разобщения зон преимущественной газоносности и нефтеносности структур земной коры, выполненные на анализе влияния палеоклимата на скорость и объемы седиментации.

Накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние факторов палеоклимата на температурный режим осадочно-вулканогенных и магматических комплексов [3-8]. В этих работах выполнены, в основном, реконструкции изменения фундаментального геодинамического параметра – теплового потока через земную поверхность, в связи с климатическими изменениями в плейстоцен-голоцене, а также реконструкции ледниковых циклов, объясняемых орбитальной теорией палеоклимата М. Миланковича. Публикуются работы в развитие орбитальной теории палеоклимата, корреляции инсоляций Земли с палеоклиматом Западной Сибири [9, 10]

Опубликован ряд работ [11–15], показывающих влияние мезозойско-кайнозойских климатических изменений на термическую историю непосредственно нефтематеринских отложений.

Ряд исследователей отмечают осложнение регионального теплового поля Урала и Сибири, вызванное особенностями климатической истории, что следует учитывать при характеристике температурного режима недр конкретных территорий [4, 16]. Ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций, рекомендуют учитывать вековой ход температур на поверхности Земли [17, 18]. Лобовой Г.А. с соавторами, на основе многовариантного палеотемпературного моделирования осадочных разрезов глубоких скважин на территории Томской области, установлено существенное влияние векового хода температур на поверхности

Земли на термическую историю и реализацию генерационного потенциала баженовской свиты [15].

Наряду с этим, при палеотемпературном моделировании разрезов глубоких скважин, расположенных на юго-востоке Западной Сибири, влияние резкого похолодания в плейстоцен-голоцене на геотермический режим материнских пород было оценено как маловероятное [19]. В некоторых работах [20 и др.] при реконструкции температурного режима нефтематеринских отложений вековой ход температур земной поверхности не учитывается.

Регионы Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, включающие арктический, имеют уникальные палеоклиматические особенности. В северном полушарии Земли, в Западной Сибири в плейстоцене произошло глобальное событие – резкое похолодание климата. Особенно значительное уменьшение температур имело место в позднем плейстоцене.

К концу позднего плейстоцена в северной части Западной Сибири температуры грунтов были ниже современных на 8-10 °С, сформировались мощности мерзлых толщ до 1000-1500 м. Важными событиями были периодически формирующиеся ледниковые покровы, достигающие в центрах формирования мощности 3500м. Похолодание на земной поверхности, формирование и деградация мощных толщ многолетнемерзлых пород, ледниковых покровов могли приводить к снижению, существенной нестационарности температурного поля во всем осадочном разрезе [13]. Даже на глубинах 3,0-3,5 км, включающих потенциально нефтематеринские отложения, геотемпературы могли снизиться по сравнению с предплиоценовыми на 15-20 °С [21].

По последним данным [22, 23] вечная мерзлота присутствовала не только в северной, центральной части и на юге Западной Сибири, четвертичное оледенение заходило в пределы севера и северо-востока Казахстана, следы покровного оледенения отмечаются и на Горном Алтае.

Количественная оценка перспектив нефтегазоносности - оценка плотности ресурсов углеводородов и районирование регионов, крупных территорий и зон нефтегазонакопления - выполняется объемно-генетическим методом (бассейновое моделирование), а также его модификациями с комплексированием способов классической геологии [21, 24, 25]. Количество генерированных углеводородов (УВ) рассчитывается на основе реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений [26].

Ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов на основе отечественных компьютерных систем (например, ГАЛО), учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [17, 18, 27 и др.]. Этот вековой ход температур можно условно назвать «стандартным», т.к. он применяется единообразно для разных региональных палеоклиматических зон Сибири [28].

Вместе с тем, есть примеры использования «местных» среднегодовых температур, соответствующих палеоклиматическим условиям развития конкретных осадочных бассейнов. Характерным примером может служить численное бассейновое моделирование мелового и кайнозойского осадочного разреза северо-восточного шельфа Сахалина [29, 30].

Есть опыт применения «местных» среднегодовых температур на земной поверхности (по метеорологическим данным) при построении термотомографической модели осадочного чехла шельфа арктического моря Лаптевых [31], а также при моделировании глубинных температур в литосфере вдоль сети геотраверсов Арктического региона Евразии [32].

В публикации Арктической экспедиции IODP 302 [33] приводятся результаты построения и анализа объединенной литосферно-бассейновой термальной модели (система PetroProb) в пределах Хребта Ломоносова. Для учета палеоклиматического фактора авторами построен «местный» (для района Хребта Ломоносова) вековой ход температур на земной поверхности, начиная со 100 млн. лет назад. Для этого использовались результаты палинологического анализа и изотопного анализа углерода органического вещества. В заключении авторы отметили [33], что эволюционирование температур на земной поверхности оказывает большое влияние на зрелость нефтематеринской породы: в зависимости от временных вариаций поверхностных температур могут быть большие или меньшие объемы получаемых УВ.

В заключение обзора можно сделать следующие выводы [34, 35], определяющие актуальность диссертационных исследований:

1. Системное рассмотрение параметров палеоклимата Западной Сибири позволяет выделить *три вероятных фактора*, влияющих прямо (фактически) или косвенно (в расчетах, реконструкциях) на температурный режим осадочного чехла, на термическую историю нефтематеринских отложений, а, следовательно, и на степень реализации их генерационного потенциала.

2. *1-ый палеоклиматический фактор* – это вековой ход температур на поверхности Земли, обуславливающий солярный источник тепла для процессов генерации УВ. *2-ой палеоклиматический фактор* – это толщи вечномерзлых пород, перекрывающие нефтематеринские отложения и обладающие аномально высокой теплопроводностью. *3-й палеоклиматический фактор* – это ледниковые покровы, своеобразные литолого-стратиграфические комплексы, существенно увеличивающие мощность перекрывающих отложений.

3. Современное состояние проблемы теоретического обоснования и экспериментальной оценки и учета влияния мезозойско-кайнозойского климата на реализацию

генерационного потенциала нефтематеринских отложений Западной Сибири можно охарактеризовать как *состояние научного поиска*.

2 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЮЖНО-СИБИРСКОЙ ЗОНЫ

2.1 Обобщение экспериментальных данных и построение мезозойско-кайнозойского векового хода температур на земной поверхности

«Местный» вековой ход температур земной поверхности южно-сибирской палеоклиматической зоны построен на основе обобщения (сводки) позднечетвертичных палеоклиматических реконструкций для Западно-Сибирской низменности А.А. Шарбатяна [36], результатов реконструкции климатических условий мезозоя юга Западной Сибири Н.А. Ясаманова [37], результатов реконструкции палеоклиматов Сибири в меловом и палеогеновом периодах по А.В. Гольберту с соавторами [38], истории климата Западной Сибири, начиная с позднего миоцена, по В.А. Зубакову [39], установленных В.С. Волковой трендов среднегодовых температур в палеогене и неогене Западной Сибири [40].

Шарбатяном А.А. [36] исследовалась возможность образования многолетнемерзлых пород в четвертичное время. При моделировании на гидроинтеграторе для района 61° с.ш. (участок широтного течения Оби) на расчетный промежуток 245 тыс. лет в качестве верхних граничных условий задачи взят вековой ход температур на поверхности грунта. Вековой ход температур определен автором по кривой векового хода солнечной радиации (по М. Миланковичу) с учетом географических особенностей района (степень континентальности, соседство оледенения и пр.) в этот промежуток времени. Аналогично, Шарбатяном А.А. определен вековой ход температур на поверхности Земли для района 65° с.ш. и более высоких широт, существенно отличный от района 61° с.ш. Осредненные значения векового хода температур на широте 61° приведены в табл. 2.1, временной интервал отнесения значений – 0,02 млн. лет.

Зубаковым В.А. [39] рассмотрена история климата позднего миоцена и плиоцена южной части Западной Сибири и северной части Казахстана. Изучались древнеаллювиальные осадочные толщи и их магнитная восприимчивость. С применением палеомагнитного метода корреляции реконструированы зимние и летние температуры. При этом были использованы палеоботанические и палеоклиматические параметры долины Среднего Иртыша, по В.С. Волковой и Н.А. Кульковой. Осредненные значения векового хода температур южной части Западно-Сибирской низменности в позднем неогене приведены в табл. 2.1, временные интервалы отнесения – 0,4 млн. лет и меньше.

Таблица 2.1 Определения среднегодовых температур в мезозое и кайнозое южной климатической зоны Западной Сибири

№ п/п	Время, млн. лет назад	Температуры на поверхности Земли, ° С	Авторы, источник данных
1	0	0	Шарбатян А.А. [36]
2	0,005	+3	
3	0,030	-2	
4	0,050	-1	
5	0,070	-4	
6	0,090	-1	
7	0,110	-4	
8	0,130	-1	
9	0,148	-4	
10	0,163	-5	
11	0,190	-9	
12	0,210	-6	
13	0,235	-10	
14	0,240	0	
15	2,2	+3	Зубаков В.А. [39]
16	2,4	0	
17	3,1	+2	
18	3,2	+2	
19	3,8	+14	Волкова В.С. [40]
20	3,9	+8	Зубаков В.А. [39]
21	4,8	+5	Волкова В.С. [40]
22	5,2	-3	Зубаков В.А. [39]
23	5,7	+7	
24	6,3	+10	
25	7,0	+4	
26	11,5	+6	Волкова В.С. [40]
27	14	+7	
28	20	+15	
29	32	+13	
30	33	+18	Ясаманов Н.А. [37]
31	34	+15	Волкова В.С. [40]
32	42	+11	Гольберт А.В. и др.[38]
33	46	+8	
34	48	+17	
35	50	+15	
36	55	+17	Волкова В.С. [40]
37	58	+24	
38	62	+20	Ясаманов Н.А. [37]
39	64	+26	
40	65	+17	Волкова В.С. [40]
41	73	+15	Гольберт А.В. и др.[38]
42	89	+17	
43	90	+26	
44	115	+17	Гольберт А.В. и др.[38]
45	120	+18	
46	178	+19	Ясаманов Н.А. [37]
47	202	+19	

Примечание: приведены осредненные значения среднегодовых температур на земной поверхности, указанные авторами в интервалах $\pm(1-2)$ °С.

Волковой В.С. [40] использован палинологический материал по скважинам и разрезам западной и средней части Западной Сибири, выполнен анализ температур ареалов основных родов растений флоры, для оценки палеотемператур использован метод построения климатограмм В.П. Гринчука. Построены тренды [40] изменения среднезимних, среднелетних и среднегодовых температур, а также количества осадков в палеогене и неогене. В табл. 2.1 приведены температуры, соответствующие дискретным определениям значений среднегодовых температур палеогена и неогена Западной Сибири, временные интервалы отнесения – от 0,5 до 5 млн. лет.

Ясаманов Н.А. [37] реконструировал климатические условия отдельных веков юрского, мелового и палеогенового периодов для северной и южной зон Западной Сибири. Для реконструкций использована комплексная методика, в которой главная роль принадлежит данным литологии. Методика включает метод изотопной (по кислороду органических карбонатов) палеотермометрии и магниевый метод палеотермометрии (по отношению кальция к магнию в органическом кальците). Основываясь на комплексной методике, были реконструированы климатические условия отдельных веков юрского, мелового и палеогенового периодов. В табл. 2.1 приведены осредненные определения палеотемператур, начиная с раннеюрской эпохи по середину олигоцена, для южной зоны Западной Сибири, временные интервалы отнесения определений – от 5 до 17 млн. лет.

Гольберт А.В. с соавторами [38] дают развернутую характеристику палеоклимата мелового и палеогенового периодов Сибири, с выделением северо-сибирской, сибирской северной, сибирской южной и северо-казахстанской зон и подзон. Авторы использовали методы изотопной и магниевой палеотермометрии, а также данные палеоботаники и климатической интерпретации геологических формаций. В табл. 2.1 приведены среднегодовые температуры для сибирской южной подзоны, начиная с раннемеловой эпохи по эоценовую, временные интервалы отнесения температур – от 5 до 15 млн. лет.

В табл. 2.1 приведена сводка определений среднегодовых температур в мезозое и кайнозое южной климатической зоны Западной Сибири (северные широты 57...61°).

На рис. 2.1 изображен ход среднегодовых температур верхнего неоплейстоцена и голоцена, на рис. 2.2 – ход среднегодовых температур верхнего миоцена и плиоцена, на рис. 2.3 – ход среднегодовых температур юры, мела, палеогена и миоцена. Таким образом, построен «местный» вековой ход температур на поверхности Земли южно-сибирской палеоклиматической Зоны, начиная с юрского времени – времени осадконакопления баженовской и тогурской нефтематеринских свит.

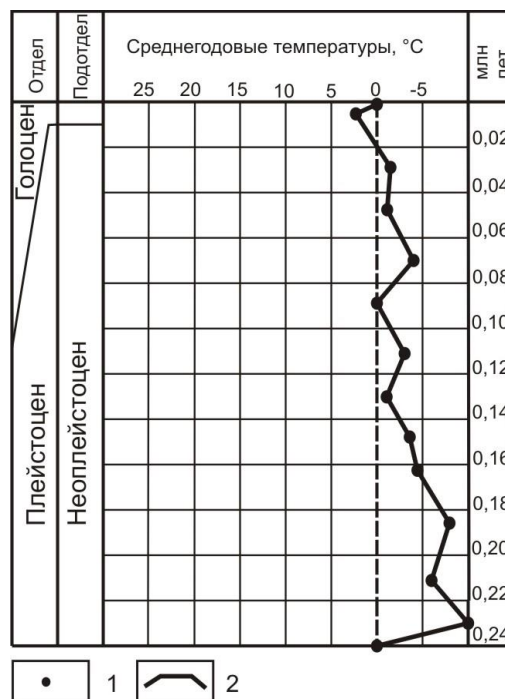


Рис. 2.1. Вековой ход температуры на поверхности Земли южно-сибирской палеоклиматической зоны в неоплейстоцене и голоцене: 1 – значения по А.А. Шарбатьяну (табл. 2.1); 2 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

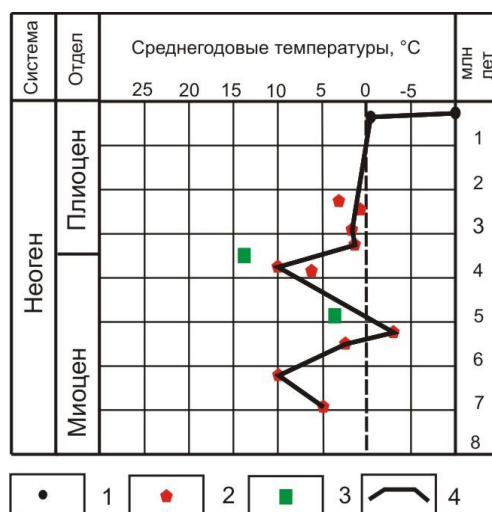


Рис. 2.2. Вековой ход температуры на поверхности Земли южно-сибирской палеоклиматической зоны в верхнем миоцене и плиоцене: 1 – значения по А.А. Шарбатьяну (табл. 2.1); 2 – значения по Зубакову В.А. (табл. 2.1); 3 – значения по Волковой В.С. (табл. 2.1); 4 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

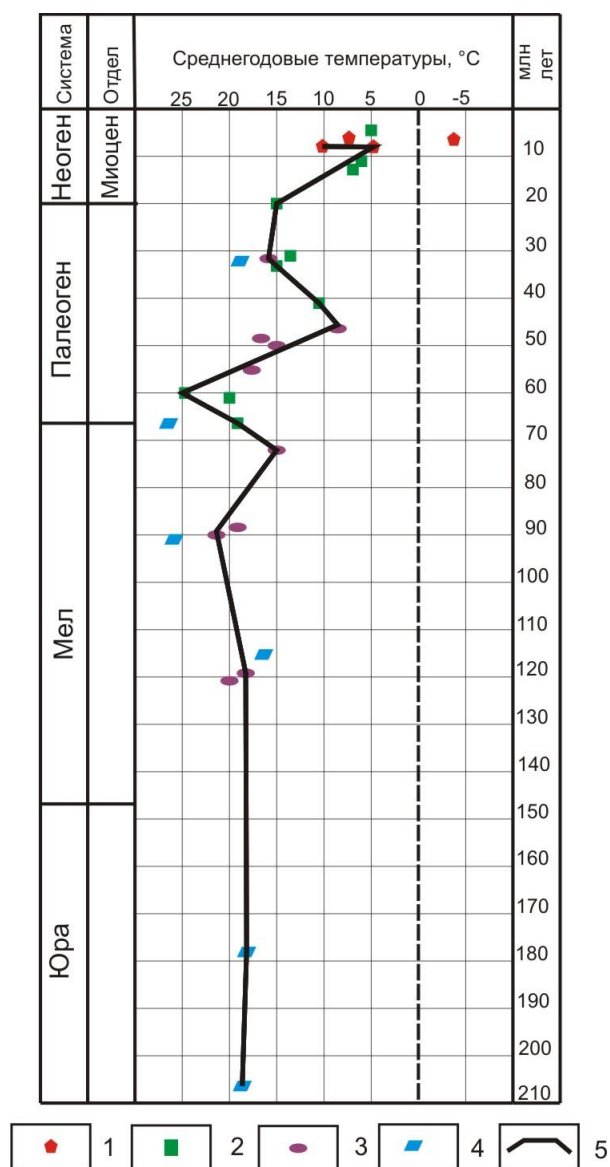


Рис. 2.3. Вековой ход температуры на поверхности Земли южно-сибирской палеоклиматической зоны в юре, меле, палеогене и миоцене: 1 – значения по Зубакову В.А. (табл. 2.1); 2 – значения по Волковой В.С. (табл. 2.1); 3 – значения по Гольберту А.В. и др. (табл. 2.1); 4 – значения по Ясаманову Н.А. (табл. 2.1); 5 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

Обобщение экспериментальных данных о мезозойско-кайнозойском ходе температур позволяет сделать следующие выводы [41, 42]:

1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур в мезозое и кайнозое на поверхности Земли южной палеоклиматической зоны Западной Сибири.
2. Определен «местный» вековой ход температур на земной поверхности южно-сибирской зоны, начиная с юрского времени – времени осадконакопления нефтематеринских свит.

2.2 Неоплейстоценовые вечномёрзлые породы

Мощным фактором формирования многолетней мерзлоты является суровый резко континентальный климат. Сохранению мерзлоты благоприятствуют низкие среднегодовые температуры и присущие этому климату особенности холодного периода: низкие температуры, малая облачность, способствующая ночному излучению, переохлаждению поверхности и глубокому промерзанию грунтов, позднее образование снежного покрова и его малая мощность.

Зона мерзлоты начала формироваться на севере Восточной и Западной Сибири около 3,25 млн. лет назад [43]. Первый период похолодания был наиболее коротким (3,25–3,1 млн. лет назад) и наименее холодным. Период похолодания с 2,82 по 2,47 млн. лет назад был более суровым: возможно, что зона мерзлоты существовала непрерывно почти 300 тыс. лет. В последующее время периоды формирования и деградации толщи многолетнемерзлых пород повторялись неоднократно. Так, в течение раннего и среднего плейстоцена, выделяется 11 криохронов (периодов с формированием криолитозон), когда среднегодовая температура была на 8–12 °С ниже современной (например, в сартанское время), и 7 термохронов со среднегодовыми значениями на 2–4 °С выше современных (например, в казанцевское время) [44–46].

По последним данным [22, 23] вечная мерзлота присутствовала не только в северной и центральной части и на юге Западной Сибири, четвертичное оледенение заходило в пределы севера и северо-востока Казахстана, следы покровного оледенения отмечаются и в центральном Казахстане. Главные пространственные закономерности распространения вечной мерзлоты в Западной Сибири проявляются в ее зональности [47].

В центральной и южной части Западной Сибири, вслед за изменением климатических условий на земной поверхности, изменяется и мощность мерзлоты. Мощность толщи мерзлоты в неоплейстоцене составляла порядка 300 м (табл. 2.2). По данным А.В. Павлова и Г.Ф. Гравис [48] мощность вечномёрзлых пород могла достигать 1000 м.

Таблица 2.2 Изменение во времени мощности многолетнемерзлых пород (для района 61° с.ш.) [36]

Время, тыс. лет назад	Глубина положения нижней кромки мерзлоты, м	Вековой ход температур на земной поверхности, °С
245	0	0
235	350	-10,0
210	450	-5,5
190	550	-8,5
165	450	-4,5
145	400	-3,5
130	350	-1,0
110	300	-3,9
95	300	-0,7
70	250	-4,0
50	250	-1,0
30	200	-2,3
5	0	+2,5

Выводы [49–51]:

1. Представляется более обоснованным, что в южной зоне Западной Сибири мощность толщи мерзлоты в неоплейстоцене составляла порядка 300 м.

2. Конечно, мощность вечной мерзлоты 1000 м маловероятна для юго-востока Западной Сибири. Тем не менее, представляет интерес оценить влияние вечномерзлых пород и такой мощности в конце плейстоцена на геотермический режим осадочного чехла.

3 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ ЗОНЫ

3.1 Обобщение экспериментальных данных и построение мезозойско-кайнозойского векового хода температур на земной поверхности

«Арктический» вековой ход температур земной поверхности Северо-Сибирской палеоклиматической зоны (северные широты 66–74°с.ш.) построен на основе обобщения (сводки по 28-ми опубликованным источникам) экспериментальных определений и позднечетвертичных палеоклиматических реконструкций для Западно-Сибирской низменности, начиная с юрского времени – времени осадконакопления нефтематеринских свит.

Шарбатяном А.А. [36] исследовалась возможность образования многолетнемерзлых пород в четвертичное время. Для района 65° с.ш. (г. Салехард) и более высоких широт на расчетный промежуток 38 тыс. лет. В качестве верхних граничных условий задачи был взят вековой ход температур на поверхности грунта. Вековой ход температур определен по кривой векового хода солнечной радиации (по М. Миланковичу [2]) с учетом географических особенностей района (степень континентальности, соседство оледенения и пр.) в этот промежуток времени. На исследуемой территории температура составляла 0°С – 38 тыс. лет назад, -4,4°С – 26-10 тыс. лет назад; -1,5°С – 10 тыс. лет назад и 0°С – 0 тыс. лет назад (табл. 3.1).

Волковой В.С. [40] использован палинологический материал по скважинам и разрезам западной и северной части Западной Сибири, выполнен анализ температур ареалов основных родов растений флоры, для оценки палеотемператур использован метод построения климатограмм В.П. Гринчука. В табл. 3.1 приведены температуры, соответствующие экстремальным точкам («переломным» для климата моментам геологического времени) тренда среднегодовых температур палеогена севера Западной Сибири, а именно на территории 69-66° с.ш. – п-ов Ямал, Тазовский п-ов. Среднегодовая температура колеблется от -6 до -10,5°С – 0,044 млн. лет назад.

Баулин В.В. [52] подробно рассматривал многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР (Тазовский, Ямальский и Гыданский полуострова, низовья долин рек Пура, Таза, Енисея). Значения среднегодовых температур пород определялись моделированием теплового процесса на гидроинтеграторе. При моделировании учтены обобщенные значения теплофизических характеристик напочвенных покровов.

Таблица 3.1. Экспериментальные определения среднегодовых температур в мезозое и кайнозое северной климатической зоны Западной Сибири

№ п/п	Время млн. лет назад	Температуры на поверхности Земли, °С	Авторы, источник данных
1	0	-6	Баулин В.В. и др. [56]
2	0	-2	Добрецов Н.Л. и др. [77]
3	0	-5	Деревянко А.П. [73]
4	0,001	-4	
5	0,008	-3	Гаврилов А.В. [78]
6	0,010	-7	
7	0,010	-2	Шарбатян А.А. [36]
8	0,010	-10	Баулин В.В. [52]
9	0,010	-6	Шполянская Н.А. [64]
10	0,010	-10	Данилова И.Д. и др. [66]
11	0,012	-13	Шейнкман В.С., Плюснин В.М. [62]
12	0,012	-12	Гуськов С.А., Волкова В.С. [63]
13	0,015	-5	Астахов В.И., Назаров Д.В. [68]
14	0,015	-8	Волкова В.С., Михайлова И.В. [72]
15	0,015	-10	
16	0,016	-5	Астахов В.И. [58]
17	0,016	-7	Баулин В.В. [52]
18	0,018	-6	
19	0,018	-7	
20	0,018	-11	Деревянко А.П. [73]
21	0,018	-10	
22	0,018	-9	
23	0,018	-7	
24	0,026	-7	Васильчук Ю.К., Серова А.К., Трофимов В.Т. [67]
25	0,026	-4	Шарбатян А.А. [36]
26	0,038	0	
27	0,040	-8	Астахов В.И. [58]
28	0,042	-9	Орлова В.В. [55]
29	0,044	-8	Волкова В.С. [40]
30	0,050	-3	Добрецов Н.Л. и др. [77]
31	0,054	-6	Баулин В.В. [52]
32	0,100	-6	Добрецов Н.Л. и др. [77]
33	0,110	-5	Баулин В.В. [52]
34	0,120	-5	
35	0,122	-9	Сарана В.А. [65]
36	0,126	-8	Павлов А.В. [54]
37	0,126	-9	Конторович А.Э. [21]
38	0,128	-2	Гаврилов А.В. [78]
39	0,128	-8	
40	0,130	-1	Баулин В.В. [52]
41	0,130	-6	
42	0,130	-12	
43	0,140	-8	
44	0,150	-6	Добрецов Н.Л. и др. [77]
45	0,200	-8	
46	0,240	-9	
47	1,8	-13	Чеховский А.Л. [53]
48	2,5	-5	Архангелов А.А., Карташова Г.Г. [74]
49	3,2	+5	Лебедева И.М. и др. [76]
50	34	+3	Волкова В.С. [57]
51	35	+5	Кулькова И.А., Волкова В.С. [61]
52	37	+10	Волкова В.С. [57]
53	38	+18	Волкова В.С., Кузьмина О.Б. [75]
54	41	+11	Кулькова И.А., Волкова В.С. [61]
55	43	+22	Волкова В.С. [57]
56	44	+15	Кулькова И.А., Волкова В.С. [61]
57	46	+15	Волкова В.С., Кузьмина О.Б. [75]

Продолжение таблицы 3.1

58	50	+14	Гольберт А.В. и др. [38]
59	50	+13	
60	55	+17	
61	65	+15	
62	73	+17	
63	83	+12	Гольберт А.В. и др.[69]
64	85	+15	Гольберт А.В. и др.,[38]
65	85	+16	
66	89	+9	
67	89	+15	
68	92	+18	
69	105	+11	Гольберт А.В. и др. [69]
70	115	+17	Гольберт А.В. и др. [38]
71	120	+16	Берлин Т.С. и др. [59]
72	132	+9	
73	133	+14	
74	135	+16	Гольберт А.В. и др. [69]
75	135	+13	
76	135	+13	
77	136	+15	
78	136	+16	
79	136	+15	
80	137	+14	
81	137	+16	
82	138	+17	
83	138	+13	
84	138	+17	
85	145	+14	Берлин Т.С. и др. [59]
86	145	+14	Гольберт А.В. и др. [69]
87	148	+18	
88	148	+15	
89	151	+11	
90	151	+19	
91	151	+16	
92	151	+15	
93	151	+16	
94	154	+16	
95	154	+15	
96	154	+16	
97	158	+12	Берлин Т.С. и др. [59]
98	172	+15	
99	176	+18	
100	189	+22	
101	189	+17	

Примечание: приведены значения среднегодовых температур на земной поверхности, полученные авторами в доверительных интервалах $\pm(1-2)$ °C.

Наиболее низкие среднегодовые температуры пород (-9...-11°C) характерны для севера п-ова Ямал для участков с моховым покровом и минимальным снегонакоплением. По Баулину В.В. на Ямальском полуострове в сартанское время (15-20 тыс. лет назад) температура достигала -5...-7°C, наиболее низкие температуры (-6...-7°C) были на широте 70°с.ш. На Гыданском полуострове (71°с.ш.) среднегодовая температура в раннем плейстоцене (38-70 тыс. лет назад) достигала -6°C. На полуостровах Ямал и Тазовский (69°с.ш.) в казанцевское время (около 110 тыс. лет назад) среднегодовая температура равна -5°C. В районах вблизи рек Ярудей и Надым (66°с.ш.) среднегодовая температура в первой половине среднего плейстоцена (около

130 тыс. лет назад) равна -1°C (табл. 3.1). Автор рассматривал и похолодания на севере Западной Сибири: в раннезырянскую эпоху на 68°с.ш. температура была $-4\ldots-5^{\circ}\text{C}$, в перигляциальной зоне средние годовые температуры воздуха могли быть -10°C (табл. 3.1).

Чеховский А.Л. [53] изучал влияния складчатых структур осадочного чехла на поведение нижней границы многолетнемерзлых пород. Проведенный А.Л. Чеховским расчет температур ложа четвертичных ледников для $69-70^{\circ}\text{с.ш.}$ показал, что, в зависимости от геотермического градиента, скорости аккумуляций и мощности ледника, на его подошве температура меняется от -6 до -20°C (табл. 3.1).

Павлов А.В. [54] исследовал изменения современных температур по почвенному составу на севере России. Автор указывал среднегодовую температуру Западного Ямала в среднем плейстоцене -8°C (табл. 3.1).

Орлова В.В. [55] детально изучала климат СССР, для районов $66-69^{\circ}\text{с.ш.}$ Автор указывала среднегодовые температуры для палеогеновой эпохи (поздний эоцен – 42 тыс. лет назад, $-6,7\ldots-10,3^{\circ}\text{C}$), используя данные термического режима, режима увлажнения, физико-географические особенности территории (табл. 3.1).

Баулин В.В. с соавторами [56], изучая геокриологические условия Западно-Сибирской низменности, получили среднегодовую температуру современной эпохи в -6°C , территория метеостанции Гыдо-Ямо (табл. 3.1).

Волкова В.С. [57] уделяла внимание этапам развития Приобского Арктического шельфа в Западной Сибири. Используя палинологические данные, автор выделяла в районах близ Ямальского полуострова достаточно высокие температуры ($+20\ldots+25^{\circ}\text{C}$) для среднего эоцена. Среднегодовые температуры 34 млн. лет назад была $+3^{\circ}\text{C}$, 37 млн. лет назад $+10^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.1).

Астахов В.И. [58] дискуссировал о хроностратиграфических подразделениях верхнего плейстоцена Сибири. По облегченному изотопному составу ледяных жил, автор установил, что в период 22-11 тыс. лет на полуострове Ямал среднегодовые температуры были в пределах $-3\ldots-6^{\circ}\text{C}$. Также по изотопно-кислородным данным (полуостров Быковский) около 40 тыс. лет назад среднегодовые температуры были -8°C (табл. 3.1).

Конторович А.Э. с соавторами [21], опираясь на огромный объем геолого-геофизической информации, в своей работе отмечали, что в позднем плейстоцене температуры были ниже по сравнению с современными (Гыданская, Ямальская, Енисей-Хатангская нефтегазоносные области) и были равны 126 тыс. лет назад $-8\ldots-10^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.1).

Берлин Т.С. с соавторами [59] занимались проблемами палеотемпературного анализа (по ростам белемнитов). Для определения палеотемператур для севера Средней Сибири (доходя до крайнего севера) использовали метод Р. Клейтона и Г. Стивенса [60]. Эти исследователи предлагали при восстановлении среднегодовых палеотемператур водной среды использовать

только минимальные значения, определенные по ростам белемнитов, так как нижние пределы палеотемператур отвечают наименьшим изменениям первоначального соотношения O^{18}/O^{16} и Ca/Mg в органогенном кальците. Среднегодовые палеотемпературы в конце плинсбаха и тоаре по определениям в Сибири составляли около 20-23 °С (табл. 3.1), некоторые понижения наблюдаются в позднем тоаре и значительно более резкое (до 15-20°С) в аалене. В дальнейшем палеотемпературы снижаются, достигая минимума (14-16°С) в байосском веке. При переходе к поздней юре среднегодовые палеотемпературы в Сибири повышаются (до 15-18°С). Далее отмечается некоторый спад температур в среднем и позднем келловее и оксфорде (до 11-13°С) и, затем, в первой половине волжского века среднегодовые палеотемпературы на севере Сибири достигают 12-16°С. В поздневолжское время среднегодовые палеотемпературы понижаются на севере Сибири до 10-12°С. На протяжении берриаса, валанжина и раннего готерива в Сибири происходит постепенное понижение среднегодовых палеотемператур (до 8-10°С). Характер наземной позднеюрской и раннемеловой растительности на севере Сибири говорит о среднегодовых температурах воздуха порядка 13-15°С.

Кулькова И.А. и Волкова В.С. [61] использовали данные палинологического метода по скважинам и разрезам севера Западной Сибири (метод позволяет установить связь современных растений с климатическими показателями) и определили отклонения среднегодовых температур от современных. В палеоцене (66,5-58 млн. лет) и раннем олигоцене (37-33 млн. лет) в зоне тундры (70 °с.ш.) отклонение среднегодовой температуры от современной составляет 5°С. Авторы отмечали недостаточность данных по северу Западной Сибири. Однако утверждали, что по данным палинологии во всем временном диапазоне от палеогена до конца миоцена наибольшее повышение температур имело место на широтах 66°с.ш. Значения среднегодовых температур представлены в табл. 3.1.

Шейнкман В.С. и Плюснин В.М. [62] анализировали материалы по оледенению Западной Сибири. Авторы проанализировали материалы, имеющиеся по современному и древнему оледенению Сибири, и провели комплекс гляциологических и палеогляциологических исследований в ключевых районах. В результате пришли к заключению, что в течение всего плейстоцена не только в глубине Сибири, но и в её западной части формировалось оледенение горно-долинного и предгорно-шлейфового типа. Это относится и к одному из самых обсуждаемых, в плане развития четвертичного оледенения, районов – северу Западной Сибири. В образовании четвертичных отложений на севере Западной Сибири участвовали различные процессы. Частично это была деятельность ледников, спускавшихся на равнину из центров оледенения в обрамляющих север Западной Сибири горах. Авторы определили среднегодовую температуру для позднего плейстоцена на высоких широтах Северного полушария равную - 12...-15°С (табл. 3.1).

Гуськов С.А. и Волкова В.С. [63], исследуя геологию арктических районов Западно-Сибирской геосинеклизы в кайнозойское время, отмечали, что в конце плиоцена, около 2,5 млн. лет тому назад произошло еще одно глобальное событие - резкое похолодание климата в северном полушарии. Это событие сказалось на температурном режиме осадочного чехла. Особо значительное уменьшение температур (температуры грунтов были ниже современных на 8-10°C (-12...-14)) имело место в позднем плейстоцене, причем происходило нарастание суровости климата. Резкое похолодание климата и промерзание пород осадочного чехла привело к изменению температурного поля во всем чехле (табл. 3.1).

Шполянская Н.А. [64] исследовала мерзлую зону литосферы Западной Сибири. Основываясь на исследовании современной структуры теплового баланса поверхности почвы и оценке возможного ее изменения после нарушения естественных физико-географических условий, автор определила среднегодовую температуру -3...-9°C, к северу от полярного круга 66,5° с. ш. (табл. 3.1).

Сарана В.А. [65] дает развернутую характеристику ледникам плато Путорана. Эти оледенения представлены исключительно малыми ледниками. Причисление ледников проводилось на основе аэровизуальных и полевых наблюдений. Среднегодовые температуры на исследуемой территории в позднеплейстоценовое время достигали -9,1°C (табл. 3.1).

Данилов И.Д. с соавторами [66] изучали возраст мерзлых отложений и изотопный состав залежей подземных льдов полуострова Ямал. По изотопному составу авторы определили среднегодовую температуру в плейстоцене -10°C (табл. 3.1).

Васильчук Ю.К. и др. [67], в своих трудах об условиях накопления каргинских отложений на севере Западной Сибири, прописывали среднегодовую температуру для районов Ямал и Гыдан -4...-9°C для 30-22 тыс. лет назад (табл. 3.1). Температуры были получены по материалам изотопно-кислородных исследований фораминифер в донных океанических колонках.

Астахов В.И., Назаров Д.В. [68], при геохронометрическом обосновании стратиграфии верхнего неоплейстоцена севера Западной Сибири, по кислородно-изотопному анализу древних жильных льдов указали среднегодовую температуру в сартанское время равную -3...-6°C (табл. 3.1).

Гольберт А.В. с соавторами [69] рассматривали палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене. Авторы считали, что находки в отложениях неокома и турона Западно-Сибирской низменности остатков скелетов динозавров и плезиозавров, костей плезиозавра в отложениях альба на острове Уединения в северной части Карского моря указывают на очень теплый климат в мезозое Западной Сибири, в том числе и в ее заполярной части. Среднегодовые температуры равнялись 10-12°C. По рострам белемнитов были определены

палеотемпературы на Восточном склоне Северного Урала по двум методам: первый метод Тейса-Найдина [70] – по соотношению O^{18}/O^{16} и второй – по соотношению Ca/Mg (Берлин Т.С., Хабаковым А.В. [71]). Среднегодовые температуры в верхнем кимеридже по первому методу равнялись $18,9^{\circ}C$, по второму – $15,6^{\circ}C$. В нижнем валанжине (берриас) по второму методу – температуры $15,7^{\circ}C$. В нижнем готериве по первому соотношению – $16,2^{\circ}C$, по второму – $14,7^{\circ}C$. В верхнем сантоне-нижний кампан, по первому методу среднегодовые температуры равны $12,1^{\circ}C$ (табл. 3.1). Аналогично были определены и среднегодовые температуры в бассейне Хеты (Таймыр), в нижнем кимеридже по первому соотношению температуры равны $15,1^{\circ}C$, по второму – $16,0^{\circ}C$. В верхнем кимеридже по первому – $16,2^{\circ}C$, по второму – $15,2^{\circ}C$. Нижневолжский подъярус по первому соотношению – $15,8^{\circ}C$. Средневолжский подъярус по первому – $17,7^{\circ}C$, по второму – $14,5^{\circ}C$. Верхневолжский подъярус – температуры $14,0^{\circ}C$ (первое соотношение). Нижний валанжин берриас, $13,4^{\circ}C$ – по первому методу, $12,8^{\circ}C$ по второму. Пограничный слой нижнего и среднего валанжина по первому – $16,8^{\circ}C$, по второму – $13,3^{\circ}C$. Средний валанжин среднегодовые температуры равны $16,9^{\circ}C$ (по второму соотношению). Пограничный слой среднего и верхнего валанжина, по первому методу – $15,5^{\circ}C$, по второму – $14,1^{\circ}C$. Нижний готерив – температуры $15,1^{\circ}C$ (по первому соотношению)

Волкова В.С. и Михайлова И.В. [72] изучали климат в эпоху последнего (сартанского) оледенения Западной Сибири. По палинологическим данным определили температуры для районов $67-69^{\circ}с.ш.$ – в сартанское время среднегодовая температура $-8...-10^{\circ}C$ (табл. 3.1).

Деревянко А.П. с соавторами [73] исследовали оледенения Западной Сибири с помощью методов количественной оценки температуры на поверхности в позднем плейстоцене и голоцене. В зоне тундры в максимум сартанского оледенения (18 тыс. лет назад) среднегодовые температуры ($-7...-11^{\circ}C$) в два раза отличались от современных температур ($-4...-5^{\circ}C$) (табл. 3.1).

Архангелов А.А. и Карташова Г.Г. [74] изучали палеогеографию Колымской низменности ($69^{\circ}с.ш.$) в позднем плиоцене. Они утверждали, что не позднее 2,5 млн. лет назад уже существовали лесотундровые и тундровые ландшафты, которые развивались при наличии стабильной многолетней мерзлоты с температурами не выше $-5...-4^{\circ}C$ (табл. 3.1).

Волкова В.С., Кузьмина О.Б. [75] рассматривали флору, растительность и климат среднего кайнофита (палеоцен-эоцен) Сибири (по палинологическим данным). При помощи методики климатограмм были получены среднегодовые температуры на Ямале на конец среднего-начало позднего эоцена (38 млн. лет) $18^{\circ}C$, в эоцене – $8-22^{\circ}C$ (табл. 3.1).

Лебедева И.М. с соавторами [76] занимались вопросами оледенений при глобальных потеплениях по палеоклиматическим сценариям. Авторами были получены температуры по

данным равнинных и низкогорных станций гидрометеорологической сети, в ледниковых зонах горных систем. Для раннего-среднего плиоцена на территории Новая Земля среднегодовая температуры была $+5^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.1).

Добрецов Н.Л. и др. [77] сопоставляли лессово-почвенную последовательность Западной Сибири с непрерывной байкальской записью биогенного кремния из осадков скважины, и показали, что количество главных пиков и минимумов байкальской записи хорошо совпадает с количеством основных эпох почвообразования и лессонакопления в Западной Сибири. В результате получили температуры для севера Западной Сибири современной эпохи -2°C , 0,05 млн. лет назад -3°C , 0,1 млн. лет -6°C , 0,15 млн. лет назад -6°C , 0,2 млн. лет назад -8°C и 0,24 млн. лет назад $-8,5^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.1).

Гаврилов А.В. [78] изучал криолитозону арктического шельфа Восточной Сибири. В диссертации указал среднегодовые температуры для высоких широт ($69-74^{\circ}\text{с.ш.}$) северной части Западной Сибири: $-1...-2^{\circ}\text{C}$ (69°с.ш.) и $-6...-10^{\circ}\text{C}$ ($74-77^{\circ}\text{с.ш.}$). 9-8 тыс. лет назад (бореальное время) температуры равнялись $-1...-5^{\circ}\text{C}$ и 10-9 тыс. лет назад $-5...-8^{\circ}\text{C}$. (табл. 3.1).

Гольберт А.В. с соавторами [38] дают развернутую характеристику палеоклимата мелового и палеогенового периодов Сибири, с выделением северо-сибирской, сибирской северной, сибирской южной и северо-казахстанской зон и подзон. Авторы использовали методы изотопной и магнетиальной палеотермометрии, а также данные палеоботаники и климатической интерпретации геологических формаций. В табл. 3.1 приведены среднегодовые температуры для северо-сибирской, сибирской северной подзон ($66-67^{\circ}\text{с.ш.}$), начиная с раннемеловой эпохи по эоценовую. Среднегодовые температуры для меловой эпохи были около $14-15^{\circ}\text{C}$; для палеоцена $-16-18^{\circ}\text{C}$; для эоцена $-12-15^{\circ}\text{C}$.

В табл. 3.1 приведена сводка экспериментальных определений среднегодовых температур в мезозое и кайнозое северной климатической зоны Западной Сибири (северные широты $66-74^{\circ}$).

На рис. 3.1 изображен ход среднегодовых температур верхнего неоплейстоцена и голоцена, на рис. 3.2 – ход среднегодовых температур верхнего миоцена и плиоцена, на рис. 3.3 – ход среднегодовых температур юры, мела, палеогена и миоцена. Таким образом, построен «арктический» вековой ход температур на поверхности Земли северо-сибирской палеоклиматической зоны, начиная с юрского времени – времени осадконакопления китербютской (тогурской) и баженовской нефтематеринских свит.

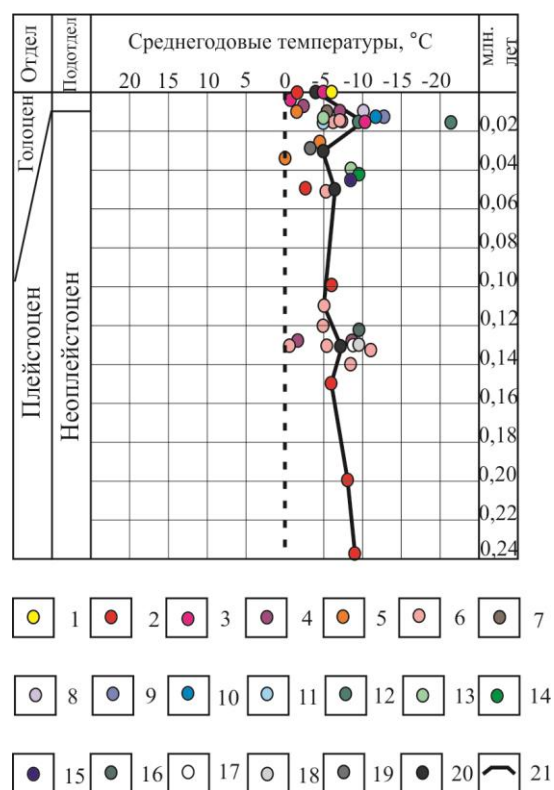


Рис. 3.1. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в неоплейстоцене и голоцене: 1–19 значения среднегодовых температур: 1 – по В.В. Баулину [56], 2 – по Н.Л. Добрецову и др. [77], 3 – по А.П. Деревянко [73], 4 – по А.В. Гаврилову [78], 5 – по А.А. Шарбатяну [36], 6 – по В.В. Баулину [52], 7 – по Н.А. Шполянской [64], 8 – по И.Д. Данилову и др. [66], 9 – по В.С. Шейнкману и В.Н. Плюснину [62], 10 – по С.А. Гускову и В.С. Волковой [63], 11 – по В.И. Астахову и Д.В. Назарову [68], 12 – по В.С. Волковой и И.В. Михайлову [72], 13 – по В.И. Астахову [58], 14 – по В.В. Орловой [55], 15 – по В.С. Волковой [40], 16 – по В.А. Сарана [65], 17 – по А.В. Павлову [54], 18 – по А.Э. Конторовичу и др. [21], 19 – по Ю.К. Васильчук и др. [67]; 20 – осредненные значения; 21 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур.

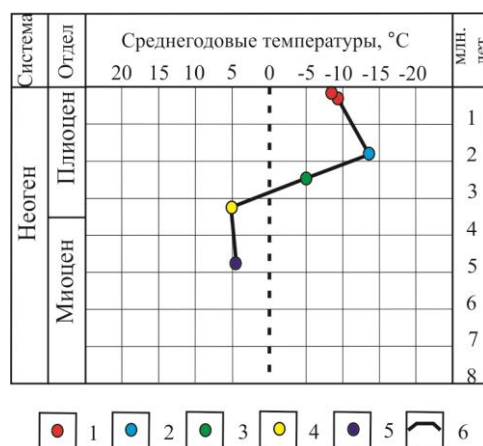


Рис. 3.2. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в верхнем миоцене и плиоцене: 1–4 значения среднегодовых температур: 1 – по Н.Л. Добрецову и др. [77], 2 – по А.А. Чеховскому [53], 3 – по А.А. Архангелову и Г.Г. Карташову [74], 4 – по И.М. Лебедевой и др. [76]; 5 – осредненные значения; 6 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур.

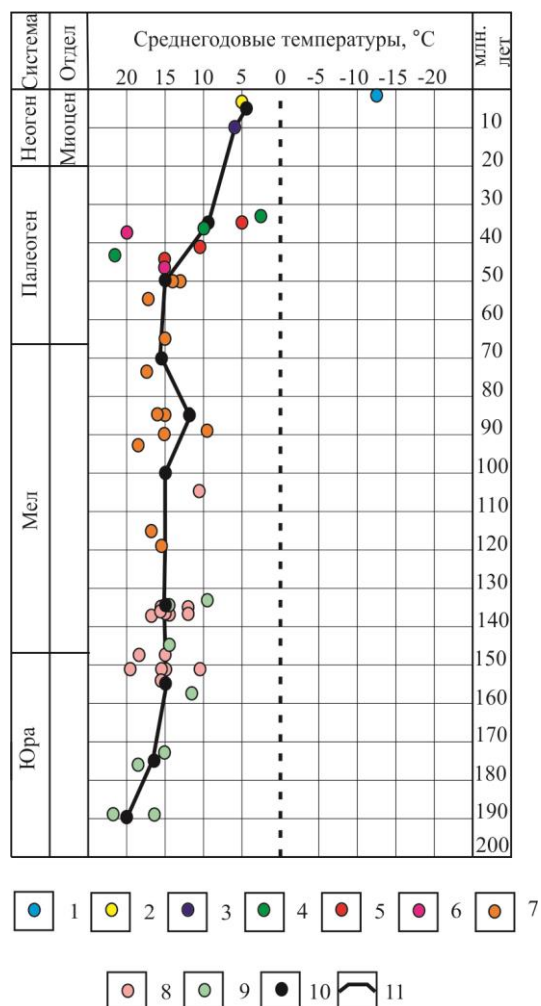


Рис. 3.3. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в юре, мелу, палеогене и миоцене: 1–9 – значения среднегодовых температур: 1 – по А.А. Чеховскому [53], 2 – по И.М. Лебедевой и др. [76], 3 – по В.С. Волковой [40], 4 – по В.С. Волковой [57], 5 – по И.А. Кульковой и В.С. Волковой [61], 6 – по В.С. Волковой и О.Б. Кузминой [75], 7 – по А.В. Гольберту и др. [38], 8 – по А.В. Гольберту и др. [69], 9 – по Т.С. Берлин и др. [59]; 10 – осредненные значения; 11 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур.

В [33] для учета палеоклиматического фактора бассейнового моделирования авторами построен «местный» (для района Хребта Ломоносова) вековой ход температур на земной поверхности, начиная со 100 млн. лет назад. Для этого использовались результаты палинологического анализа и изотопного анализа углерода органического вещества. *Здесь следует отметить, что «местный» вековой ход температур на земной поверхности [33], в интервале геологического времени 100–4 млн. лет назад, идеально совпадает с «арктическим» вековым ходом температур на земной поверхности (рис. 3.3), независимо построенным в*

результате сводки и обобщения экспериментальных определений и палеоклиматических реконструкций для севера Западно-Сибирской низменности.

Обобщение экспериментальных данных о мезозойско-кайнозойском ходе температур позволяет сделать следующие выводы [35]:

1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур в мезозое и кайнозое на поверхности Земли сибирской палеоклиматической зоны Западной Сибири.

2. Определен «арктический» вековой ход температур на земной поверхности северо-сибирской зоны, начиная с юрского времени – времени осадконакопления нефтематеринских свит.

3.2 Обобщение экспериментальных данных и построение векового хода плиоцен-четвертичных толщ вечномерзлых пород

Вековой ход мощностей мерзлых пород (северные широты 66 – 74 °) построен на основе обобщения (сводки по 19-ти опубликованным источникам) экспериментальных определений и палеокриологических реконструкций для севера Западно-Сибирской низменности, начиная с интенсивного развития криогенных процессов в неоплейстоцене – 0,5 млн. лет назад.

Шарбатяном А.А. [36] исследовалась возможность образования многолетнемерзлых пород в четвертичное время. При этом автор учитывал: современное состояние многолетнемерзлых горных пород, их состав, распространение, мощность и температурный режим. Севернее полярного круга автор выделял зону сплошного залегания многолетнемерзлых пород, мощностью 450-500 м на 70 °с.ш. (верхний плейстоцен), и уменьшается до 200-300 м на 66-67 °с.ш. Также Шарбатян А.А. отмечал, что в среднем плейстоцене (примерно 200 тыс. лет назад, 66 °с.ш.) мощность сибирского ледяного покрова не доходила до 300 м. Значения мощностей приведены в табл. 3.2.

Баулин В.В. [79] изучал историю «подземного» оледенения Западной Сибири, в своей работе он писал, что на крайнем севере низменности (70°с.ш.) во второй половине верхнего плейстоцена (126 тыс. лет назад), мощность мерзлых толщ достигает 450-500 м, и даже превышала эти значения. У полярного круга она уменьшается до 300- 350 м (66-67°с.ш.). В центральной зоне глубина многолетнего промерзания в общем мало изменяется по широте и равна примерно 350-400 м.

Таблица 3.2. Определение мощностей мерзлых пород в четвертичное время северной климатической зоны Западной Сибири

№ п/п	Время млн. лет назад	Мощность вечномерзлых пород, м	Авторы, источник данных
1	0,006	690	Гаврилов А.В. [86]
2	0,006	900	
3	0,009	500	Ершова Э.Д. [82]
4	0,010	470	Шарбатян А.А. [36]
5	0,010	250	
6	0,011	850	Ершова Э.Д. [82]
7	0,015	320	Шполянская Н.А. [64]
8	0,016	150	Груздов А.В. [80]
9	0,018	470	Деревянко А.П. [73]
10	0,018	515	
11	0,018	525	
12	0,018	285	
13	0,018	520	
14	0,018	500	
15	0,018	235	
16	0,018	310	
17	0,022	274	Герасимов И.П. [81]
18	0,026	370	Данилова И.Д. и др. [66]
19	0,030	500	Фотиев С.М. [46]
20	0,040	280	Груздов А.В. [80]
21	0,040	120	Баулин В.В. [52]
22	0,040	135	
23	0,042	150	Гаврилов А.В. [86]
24	0,044	205	Бадю Ю.Б. [83]
25	0,044	320	Груздов А.В. [80]
26	0,050	210	
27	0,055	210	Баулин В.В. [79]
28	0,055	270	
29	0,055	480	
30	0,055	320	
31	0,055	450	
32	0,055	310	Груздов А.В. [80]
33	0,060	450	Разумов С.О. и др. [88]
34	0,070	335	Трофимов В.Т. [84]
35	0,090	335	Разумов С.О., и др. [88]
36	0,100	72	Баулин В.В. [52]
37	0,100	120	
38	0,100	45	
39	0,100	300	
40	0,100	195	
41	0,100	270	
42	0,100	316	Груздов А.В. [80]
43	0,100	750	Романовский Н.Н., Тумской В.Е. [89]
44	0,110	270	Трофимов В.Т. [87]
45	0,115	245	
46	0,117	300	Баулин В.В. [52]
47	0,120	250	
48	0,120	400	Трофимов В.Т. [84]
49	0,120	210	
50	0,122	320	Баулин В.В. [79]
51	0,125	630	Романовский Н.Н., Тумской В.Е. [89]
52	0,126	470	Баулин В.В. [79]
53	0,128	350	Трофимов В.Т. [87]
54	0,128	240	
55	0,130	400	Баулин В.В. [79]
56	0,140	350	Свиточ А.А. [85]
57	0,150	330	Шполянская Н.А. [64]
58	0,180	600	Фотиев С.М. [45]
59	0,200	450	Попов А.И., [90]
60	0,218	700	Баулин В.В. [52]
61	0,500	600	Фотиев С.М. [45]

Эти данные свидетельствуют о своеобразии процесса многолетнего промерзания отложений в Западной Сибири на протяжении четвертичного периода. Данные о мощностях представлены в табл. 3.2.

Баулин В.В. и ранее [52] занимался многолетнемерзлыми породами нефтегазоносных районов СССР. Он отмечал, что зона сплошного распространения многолетнемерзлых пород охватывает Тазовский, Ямальский и Гыданский полуострова, низовья долин рек Пура, Таза, Енисея. На данных территориях имеются талики мощностью от нескольких до 100 метров. Автором, изучены мощности мерзлых пород в тундровой зоне для четвертичного периода (северный Ямал, Тазовский полуостров). Мощность многолетнемерзлых пород на севере полуострова Ямал равна 200-300 м и редко достигала 400 м это связано с засоленностью промерзающих отложений (казанцевское время, 120 тыс. лет назад). Мощность мерзлой толщи на широте 65°с.ш., равно 700 м. Значения мощностей представлены в табл. 3.2.

Груздов А.В. [80] подробно изучал закономерности распространения, строения толщ и мощности многолетнемерзлых пород в районе Тазовского полуострова. Автор писал, что 16 тыс. лет назад мощность мерзлых пород достигала 150 м, 40 тыс. лет назад – 280 м, 50 тыс. лет назад – 210 м, 55 тыс. лет – 310 м; 100 тыс. лет назад мощность была 316 м. Значения мощностей на разные промежутки времени представлены в табл. 3.2.

Шполянская Н.А. [64] исследовала мерзлую зону литосферы Западной Сибири, мощности вечной мерзлоты для северного района. Автор отмечала, на севере Западной Сибири (66,6 °с.ш.) мощность вечной мерзлоты была 250-400 м (плейстоцен, 150 тыс. лет назад). Данные приведены в табл. 3.2.

Данилов И.Д. с соавторами [66] занимались вопросами возраста и состава залежей подземных льдов на полуострове Ямал. Авторы в своих трудах указали мощность мерзлой толщи в плейстоцене (26 тыс. лет назад), равную 370 м. Данные приведены в табл. 3.2.

Герасимов И.П. [81] занимался четвертичной геологией и отмечал, что самая большая мощность вечномерзлых пород известна в Амдерме (69 °с.ш.) – более 274. Данные по мощности приведены в табл. 3.2.

Ершова Э.Д. [82] писала о мощностях вечномерзлых пород Средней Сибири, которые превышали 700-1000 м (позднечетвертичное время, 11 тыс. лет назад). Такие мощности сформировались в результате суровых климатических условий, большой теплопроводности промерзавших коренных пород и небольших значений теплотоков из недр. Однако важнейшим фактором является и время промерзания. На окраине северной зоны мощность мерзлых толщ 9 тыс. лет назад достигала 400-600 м. Данные приведены в табл. 3.2.

Бадю Ю.Б. [83] исследовал корреляцию газоносных структур и мощности криогенной толщи (КТ) Ямала. На севере (севернее 72 °с.ш.) электроразведочными работами установлено,

что мощность мерзлого яруса КТ на казанцевской морской равнине в позднеплейстоценовое время изменяется от 160 до 250 м, лишь изредка достигая больших величин [84]. Вплоть до 70° с.ш. (до линии оз. Нейто на Ямале и верховьев Юрибея на Гыдане) мощность яруса мерзлых пород криогенной толщи возрастает до 300-350 м в пределах салехардской морской равнины (44 тыс. лет назад). Данные приведены в табл. 3.2.

Свиточ А.А. [85] подробно изучал палеогеографию плейстоцена. Автор отмечал, что мощность мерзлых пород (ММП) включают большое разнообразие подземного льда сингенетического и эпигенетического происхождения с преобладанием полигонально-жильных льдов сингенетического типа. Наиболее крупные и мощные залежи их располагаются в низменных равнинах севера Сибири: Яно-Индибирской, Колымской, Анадырской, на севере Западной Сибири, где существовали наиболее благоприятные условия формирования ММП. На севере в Западной Сибири в плейстоцене (140 тыс. лет назад) развит один слой ММП, мощностью 300-400 м. Данные приведены в табл. 3.2.

Гаврилов А.В. [86] работал над составлением типизации арктических шельфов по условиям формирования мерзлых толщ. Автор упоминал, что ледникам шельфов свойственны наиболее мягкие геокриологические условия. Сплошной маломощный ярус ММП (до 100 м, редко до 200 м), переходящий в прерывистый, развит только в прибрежной зоне Карского и Печорского шельфа, не покрывавшейся сартанским (поздневалданским) ледником. Шельфам, в частности шельфу моря Бофорта, свойствен наиболее мощный, имеющий двуслойное строение, ярус ММП (600-780 м, возможно, достигало и 900 м, 6 тыс. лет назад). Данные приведены в табл. 3.2.

Трофимов В.Т. [87] подробно изучал полуостров Ямал. Автор писал, мощность многолетнемерзлых пород в пределах полуострова Ямал изменяется, как свидетельствуют данные буровых и геофизических исследований, в очень широком диапазоне: от 2-5 до 300-400 м, а местами и более. Анализ пространственного распределения мощностей мерзлых толщ свидетельствует, что районы с наибольшими мощностями (более 300 м, казанцевское время), расположены в осевой, наиболее возвышенной части полуострова. Все районы, которыми окружен полуостров, имеют мощность ММП 200-280 м. Все данные представлены в табл. 3.2.

Разумов С.О. с соавторами [88] рассматривали позднекайнозойскую эволюцию криолитозоны шельфа западной части моря. Авторы отмечали, мощность мерзлоты, сформированной в зырянское время (117-50 тыс. лет назад) достигала от 240 до 430 м., а 60-50 тыс. лет назад мощность равнялась 450 м. Данные представлены в табл. 3.2.

Романовский Н.Н., Тумской В.Е. [89] занимались вопросами шельфовой криолитозоны. Авторы утверждали, что в пределах моря Лаптевых, мощность равнялась 630 м (120-130 тыс. лет назад) на этапах регрессии моря длительностью 100 тыс. лет. Возможна агградация

криолитозоны до мощности 600-900 м во внутренней области осушенного шельфа на севере региона. Данные представлены в табл. 3.2.

Попов А.И. [90] изучал мерзлотные явления в земной коре. В своих трудах автор писал, что мощность вечномёрзлых толщ в Северо-Таймырском районе ($73-78^{\circ}$ с.ш.) была более 400-500 м (средний - верхний плейстоцен, 200 тыс. лет назад). Данные представлены в табл. 3.2.

Деревянко А.П. [73] рассматривал изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири. По соотношению тепловых потоков на фазовой границе строились палеорекострукции теплового режима в области распространения мерзлоты. С помощью полученных данных, автор, по формулам рассчитывал мощности мерзлых пород для различных пунктов с 66° с.ш. по 70° с.ш., в сартанское время (18 тыс. лет назад) и мощность получалась в пределах 235-520 м. Значения мощностей приведены в табл. 3.2.

Фотиев С.М. [46] приводит современные представления о криогенной толще и отмечал, что в районе северной зоны, занятой тундрой и заболоченными редколесьями, мощность криогенной толщи от 300 до 700 м (30-50 тыс. лет). В среднем плейстоцене выделяют две ледниковые эпохи: самаровскую и тазовскую. Мощность криогенной толщи в недрах Хатангского прогиба 500-700 м, в два-три раза меньше по сравнению с мощностью КТ в недрах Оленекского и Котуйского прогиба (1000-1500 м, 200 тыс. лет назад). Данные приведены в табл. 3.2.

Фотиев С.М. [45] сообщает, что мощность КТ отражает устойчивость во времени геотемпературных условий, определяющих агградационное (наращивание мощности КТ) или деградационное (ее сокращение) развитие криогенного процесса. В Западной Сибири в Северной зоне (66° с.ш.) возраст КТ не превышает 0,5 млн. лет, а мощность КТ менее 600 м (табл. 3.2). В Западной Сибири устойчивая и продолжительная деградация КТ и сверху и снизу – характерная региональная особенность Северной зоны региона. Криогенная толща среднелепистоценового возраста, залегающая с поверхности, могла сохраниться только на наиболее возвышенных участках полуостровов Ямал и Гыданский, которые не затоплялись морем в эпоху казанцевской трансгрессии. Видимо поэтому, возраст КТ не превышает 0,5 млн. лет, а ее мощность даже на севере Ямала не более 600 м [45]. Такая значительная мощность КТ вряд ли могла сформироваться только в позднем плейстоцене [91]. Скорее всего, мощная КТ на Ямале и Гыдане сформировалась в результате смыкания КТ позднелепистоценового и среднелепистоценового возраста.

В табл. 3.2 приведена сводка мощностей мерзлых пород в четвертичное время северной климатической зоны Западной Сибири (северные широты $66 \dots 74^{\circ}$).

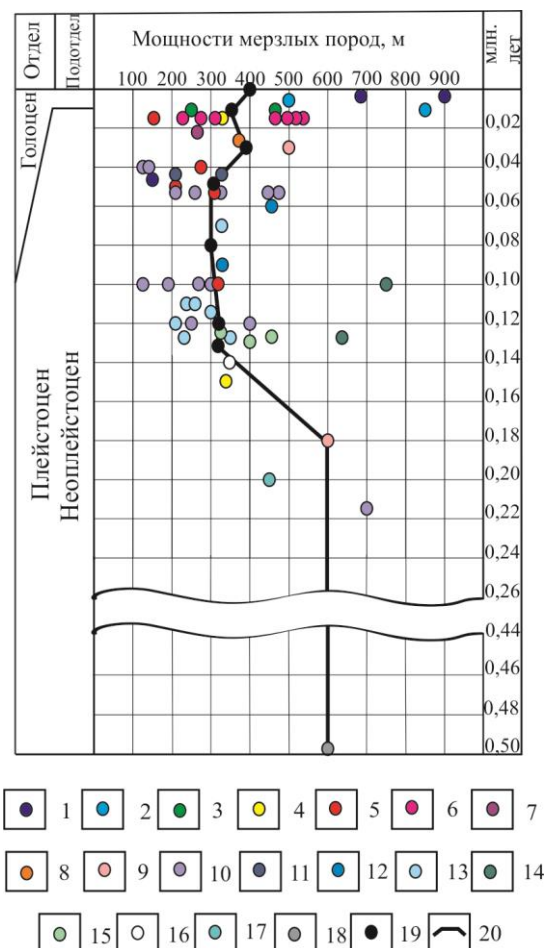


Рис. 3.4. Вековой ход мощностей вечномерзлых пород северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в неоплейстоцене и голоцене: 1–19 значение мощностей мерзлых пород: 1 – по А.В. Гаврилову [86], 2 – по Э.Д. Ершову [82], 3 – по А.А. Шарбатян [36], 4 – по Н.А. Шполянской [64], 5 – по А.В. Груздову и др. [80]; 6 – по А.П. Деревянко [73]; 7 – по И.П. Герасимову [81], 8 – по И.Д. Данилову и др. [66], 9 – по С.М. Фотиеву [46], 10 – по В.В. Баулину [79], 11 – по Ю.Б. Бадю [83], 12 – по С.О. Разумову и др. [88], 13 – по В.Т. Трофимову [84], 14 – по Н.Н. Романовскому и В.Е. Тумскому [89], 15 – по В.В. Баулину [52], 16 – по А.А. Свиточ [85], 17 – по А.И. Попову [90], 18 – по С.М. Фотиеву [45], 19 – по В.Т. Трофимову [87]; 20 – осредненные значения; 21 – кусочно-линейная аппроксимация векового хода мощностей вечномерзлых пород.

Для северной климатической зоны Западной Сибири на рис. 3.4 изображен вековой ход мощностей мерзлых пород миоцена и плиоцена. Таким образом, построен «арктический» вековой ход мощностей мерзлых пород.

Обобщение экспериментальных данных о вековом ходе мощностей вечномерзлых пород позволяет сделать следующие выводы [33]:

1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе мощностей мерзлых пород миоцена и плиоцена северной палеоклиматической зоны Западной Сибири.

2. *Определен вековой ход мощностей вечноммерзлых пород северной палеоклиматической зоны Западной Сибири.*

4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Для исследований влияния палеоклиматических факторов на геотермический режим нефтематеринских отложений применен метод палеотемпературного моделирования, основанный на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей, реализованный в программном обеспечении TeploDialog [19, 92, 93].

В модели процесс распространения тепла в слоистой осадочной толще описывается начально-краевой задачей для уравнения

$$\frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial Z} \left(\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \right) = f, \quad (4.1)$$

где λ – теплопроводность; a – температуропроводность; f – плотность тепловыделения внутренних (радиоактивных) источников тепла; U – температура; Z – расстояние от основания осадочного разреза; t – время. С краевыми условиями

$$U|_{Z=\varepsilon} = U(t), \quad (4.2)$$

$$-\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \Big|_{Z=0} = q(t), \quad (4.3)$$

где $q(t)$ – тепловой поток из основания осадочного разреза; $\varepsilon = \varepsilon(t)$ – верхняя граница осадочной толщи (поверхность осадконакопления, дневная поверхность). Отсюда видно, палеотектонические реконструкции непосредственно сопряжены с палеотемпературными реконструкциями. Алгоритм палеотектонических реконструкций основывается на «методе выравнивания профилей» по В.Б. Нейману (1984).

Краевое условие (4.2) определяется температурой поверхности осадконакопления, т.е. определяется палеоклиматом, и задается в виде кусочно-линейной функции векового хода температур на поверхности Земли [35, 41].

Здесь задачи решаются в предположении квазипостоянства значения плотности теплового потока из основания, начиная с юрского времени. В этом случае, решение обратной задачи (расчет плотности глубинного теплового потока q) определяется из условия

$$\sum_{i=1}^{k_t} (U(Z_i, t, q) - T_i)^2 \xrightarrow{q} \min, \quad (4.4)$$

где T_i «наблюдаемые» значения температур в k_i точках на различных глубинах Z_i в моменты времени $t=\tau$. Решение обратной задачи (4.4) строится с учетом того, что функция $U(Z,t,q)$, являющаяся решением прямой задачи (4.1) с краевыми условиями (4.2) и (4.3), в этом случае линейно зависит от q . Поэтому неизвестный параметр q определяется однозначно.

Осадочная толща описывается мощностями стратиграфических комплексов h_i , для каждого из которых заданы теплопроводность λ_i , температуропроводность a_i , плотность тепловыделения радиоактивных источников f_i в породах и время осадконакопления t_i (рис. 4.1). Скорость осадконакопления v_i может быть нулевой и отрицательной, что позволяет учитывать перерывы осадконакопления и денудацию.

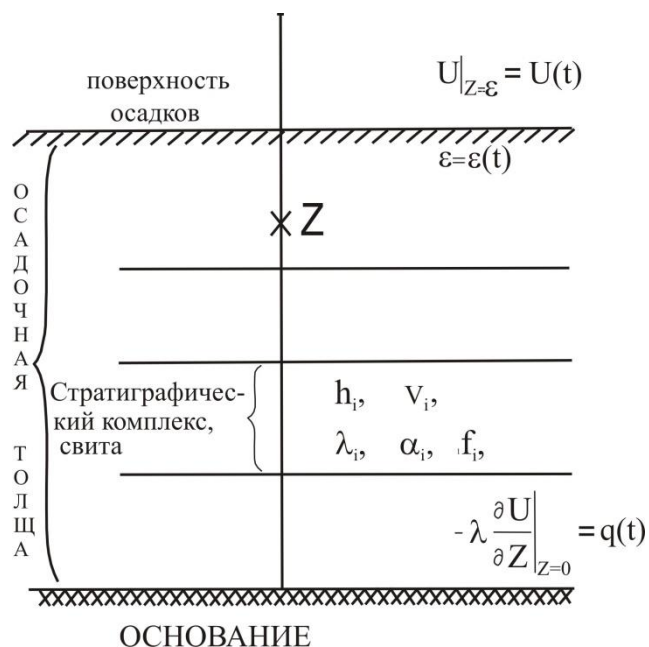


Рис. 4.1 Схематическое изображение слоистого осадочного разреза при палеотемпературном моделировании [93, 94]: $\varepsilon = \varepsilon(t)$ – верхняя граница осадочной толщи; t – время осадконакопления; U – температура; q – тепловой поток; Z_i – точки расчета температур; h_i – мощность; v_i – скорость осадконакопления; λ_i – теплопроводность; a_i – температуропроводность; f_i – плотность тепловыделения радиоактивных источников.

Расчет палеотемператур состоит из двух этапов. На первом, по распределению температур T , «наблюденных» в точках разреза скважины, рассчитывается тепловой поток q через поверхность основания осадочного чехла, т. е. решается обратная задача геотермии – классическая обратная задача геофизики. На втором этапе, с известным значением q , решаются

прямые задачи геотермии – непосредственно рассчитываются температуры U в заданных точках осадочной толщи Z (в том числе в материнской свите) на *любые* заданные моменты геологического времени t .

Для решения *обратной задачи геотермии* используем в качестве «наблюденных» как измерения пластовых температур ($t=0$), полученные при испытаниях скважин, так и палеотемпературы ($t \neq 0$), определенные по отражательной способности витринита (ОСВ).

Способ перехода от R_{vt}^0 к соответствующей геотемпературе обоснован вариативными исследованиями и приведен в [19]. Для перехода от R_{vt}^0 к соответствующей геотемпературе используется диаграмма «Линии значений отражательной способности витринита, нанесенные на измененную схему Коннона» [95, 96]. На диаграмме фиксированы линия соответствия $R_{vt}^0 = 0,5 \%$ и температуры 80°C , линия соответствия $R_{vt}^0 = 0,8 \%$ и температуры 120°C . При определениях температуры для промежуточных значений R_{vt}^0 выполняется линейная интерполяция между указанными крайними значениями.

При отсутствии экспериментальных определений теплопроводности λ_i используем петрофизические зависимости теплопроводности осадков от их плотности σ , литологии и льдинистости [97, 98]. Коэффициенты температуропроводности a_i , плотности тепловыделения радиоактивных источников f_i также определяются литологией стратиграфических комплексов.

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной, определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии с литолого-стратиграфической разбивкой скважины (пример, табл. 4.1). Возраст пород и соответствующие вековые интервалы шкалы геологического времени [99], увязанные с периодами геохронологической шкалы Стратиграфического кодекса (1992 г.), определяют время и скорости осадконакопления.

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород [35] учитываются как динамичный литолого-стратиграфический комплекс, обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a [97].

Формализованный учет толщи мерзлоты (пример, табл. 4.1) осуществляется, начиная с 0,52 млн. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 0,3+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений 600-метровой толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 334 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (0,3+0,15+0,15 тыс. лет) толща мерзлых пород деградирует в объеме 300 м. И, далее, вечномерзлые породы существуют в объеме 300 м до настоящего времени, в последние 182 тыс. лет.

Таблица 4.1 Пример параметрического описания седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Арктическая 11 [35]

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	-	0.1820-0.00	0.1820	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	300	0.18215-0.1820	0.00015	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+плиоце $Q-N_2$	300	0.1823-0.18215	0.00015	2.10	1,3	7e-007	1.22e-006
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	-600	0.1826-0.1823	0.0003	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	-	0.5167-0.1826	0.3341	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	600	0.5197-0.5167	0.003	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	-600	0.520-0.5197	0.0003	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-N_2$	280	4.1-0.520	3.58	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N_{1-2}	-113	4.1-5.4	1.3	-	-	-	-
Новопортовская N_{1-2}	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N_1	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская $bsch N_1$	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N_1	-535	14.5-18.5	4	-	-	-	-
Абросимовская N_1	25	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская $tur P_3$	90	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская $nvm P_3$	70	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская $atl P_3$	100	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская $tv P_2$	150	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская $nl P_2$	100	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P_2ir	20	50.4-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P_2sr	43	55.0-58.0	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P_2tb	120	58.0-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K_2+P_1gn	40	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K_2b	136	73.0-89.0	16	2.15	1,41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K_2kz	31	89.0-92.0	3	2.18	1,43	8e-007	1.25e-006
Марресалинская K_2-K_1mr	550	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K_1jar	690	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K_1tn	353	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K_1ah	529	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J_3+K_2bg	16	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J_2nr	65	149.3-161.7	12.4	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Малышевская J_2ml	95	161.7-171.0	9.3	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J_2ln	130	171.0-173.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Вымская J_2vm	127	173.0-175.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Лайдинская J_2ld	75	175.0-177.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Надояхская J_1+J_2nd	95	177.0-182.5	5.5	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Китербютская (тогурская) J_1kt	39	182.5-184.0	1.5	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Шараповская J_1shr	50	184.0-186.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Левинская J_1lv	140	186.0-186.7	0.7	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3624						

Примечание. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских китербютской (тогурской) и баженовской свит и их параметрическое описание. Серой заливкой показан разрыв палеоген-неогеновых отложений. Синей заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-синей заливкой показано время существования толщи мерзлоты.

Решение прямых задач геотермии выполнялось на 50 ключевых момента геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты, перекрывающих материнскую баженовскую, а также точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности и «переломным» моментам формирования и деградации неоплейстоценовой мерзлоты.

Модель процессов нефтегазообразования [100] позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей из РОВ материнских отложений: пороговая геотемпература вхождения в главную зону нефтеобразования (ГЗН) $U \geq 80$ °С для РОВ сапропелевого типа, $U \geq 85$ °С для РОВ гумусово-сапропелевого и гумусового типов.

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. Вариант 1 – без учета факторов палеоклимата. Вариант 2 – учет «стандартного» векового хода температур [17, 18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 3 – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 4 – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты [35].

Первым основным критерием адекватности и предпочтительности результатов из четырех вариантов выступает оптимальная согласованность максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная согласованность («невязка») расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. Оптимальная «невязка» - это средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений, равная погрешности «наблюдений» [101, 102]. Эта погрешность порядка ± 2 °С. В качестве второго основного критерия принята степень согласованности очагов интенсивной генерации УВ, прогнозируемых по геотемпературному критерию, с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Важным критерием достоверности результатов палеотемпературного моделирования является согласованность расчетных значений плотности теплового потока q с данными экспериментального определения плотности теплового потока на территории исследований.

Для сопоставительной оценки результатов вариантов моделирования – оценки степени согласованности расчетных очагов генерации УВ с установленной геологоразведочными работами нефтегазоносностью недр для каждого варианта реконструкций термической истории

материнской свиты рассчитывается интегральный показатель плотности ресурсов генерированных нефтей (R , усл. ед.) по формуле [103, 104]:

$$R = \sum_{i=1}^n (U_i t_i \cdot 10^{-2}), \quad (4.5)$$

где U_i – расчетная геотемпература очага генерации нефти, °C; t_i – интервальное время действия очага – нахождения материнских отложений в ГЗН, млн. лет; количество временных интервалов n определено числом интервалов геологического времени нахождения материнских отложений в ГЗН. Как следует из принятой формулы, расчетное значение плотности генерированных ресурсов (на участке скважины) напрямую зависит от времени нахождения материнской свиты в ГЗН и от геотемператур ГЗН.

Такой подход можно принять в качестве экспресс-расчета (упрощенного расчета) плотности генерированных ресурсов УВ, не учитывающего количество и состояние органического вещества (ОВ) материнской свиты. Допустимость такого подхода аргументируется тем, что параметры ОВ для вариантов моделирования разреза скважины не меняются и достаточны для интенсивной работы «удельного макрореактора» при энергообеспеченности, подводимой тепловым потоком и приростом геотемпературы [27]. В данном случае плотность генерированных ресурсов имеет размерность [°C•млн. лет]. Эту единицу оценки мы называем условной. Таким образом, экспресс-расчет плотности ресурсов выполняется в условных единицах, что представляется корректным для сопоставления результатов вариантов моделирования.

Эффективность метода исследований заключается в следующем:

1. В отличие от известных систем бассейнового моделирования (ГАЛА – российская, Temis, PetroProb, PetroMod – зарубежные, реализующие палеотемпературное моделирование), используемая модель в программном обеспечении палеотемпературного моделирования TeploDialog не требует априорных сведений о природе и величине глубинного теплового потока q из основания осадочного разреза. Глубинный тепловой поток определяется решением обратной задачи геотермии – классической обратной задачи разведочной геофизики. Решение обратной задачи выполняется в рамках параметрического описания седиментационной истории и истории теплофизических свойств только осадочной толщи, без привлечения сведений о геодинамике ниже основания осадочного разреза. В то время как известна сложность и неоднозначность определения теплового потока из основания осадочной толщи, базирующегося в системах ГАЛА, Temis, PetroProb и PetroMod на моделях рифтинга литосферы («defined rift phases») [21, 30, 33, 105].

2. Для геодинамических условий Западной Сибири, характеризующихся, начиная с юрского времени, квазистационарностью глубинного теплового q [11, 13, 106], решение обратной задачи геотермии – определения q – в системе TeploDialog выполняется однозначно.

3. В математическую модель, реализованную в TeploDialog, непосредственно, в строгой математической форме, включены палеотемпературы из определений отражательной способности витринита, как «наблюденные». Геотемпературы из ОСВ используются аналогичным образом, как и измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин. Для геотемператур по ОСВ учитывается время срабатывания «максимального палеотермометра». Никаких отдельных «калибровок» по температурам ОСВ выполнять не требуется.

Замечание 1. Может казаться парадоксальным оценивать влияния неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим материнских отложений. Ведь абсолютный палеотемпературный максимум ГФН приходится на рубеж олигоцена и миоцена (18-24 млн. лет назад), а вечномерзлые породы формировались только в неоплейстоцене (0,24 млн. лет назад). Объяснение этому кажущемуся парадоксу следующее.

Палеотемпературы (реконструкции термической истории) материнской свиты рассчитываются по значению плотности теплового потока из основания осадочного разреза – q . Значение q , в свою очередь, рассчитано решением классической обратной задачи геофизики в рамках параметрической модели седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи. Если мы признаем факт существования неоплейстоценовой мерзлоты, то для реконструкций (расчетов) термической истории материнских отложений неизбежно применяем параметрическую модель седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи, включающую вечную мерзлоту. Если мы не признаем факт существования неоплейстоценовой мерзлоты, то для расчетов применяем параметрическую модель седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи, без вечной мерзлоты. И, как следствие, в зависимости от признания/не признания факта существования неоплейстоценовой мерзлоты, получаем разные расчетные геотемпературы ГФН материнской свиты. Таким образом, влияние неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим материнских отложений является косвенным, расчетным, но неизбежным при расчете ресурсов объемно-генетическим методом.

При этом, обратим внимание на то, что оценка плотности ресурсов углеводородов, выполняемая по методике бассейнового моделирования [26], является расчетной, основанной на реконструкциях (расчетах) геотемпературного режима нефтематеринских отложений.

Замечание 2. Примененный экспресс-расчет плотности генерированных ресурсов нефти (через интегральный показатель R , усл. ед.) не является конкурирующим для расчетов [26, 27,

107] прироста генерационных потерь POB ($кг/м^3$) или объемной плотности генерации $УВ$ ($кг/м^2$), выполняемых с использованием параметров нефтематеринской толщи и параметров «макрореактора». Экспресс-расчет R – это рабочий инструмент для оценок вариантов моделирования геотермического режима нефтематеринских отложений в разрезе скважины, для сопоставления по относительному значению параметра.

Анализ возможностей метода палеотемпературного моделирования, используемого для оценки влияния палеоклиматических факторов на геотермический режим нефтематеринских отложений, позволяет сделать следующие выводы:

1. Метод позволяет в строгой математической форме учесть основные палеоклиматические факторы – вековой ход температур и толщину вечномёрзлых пород.
2. Метод позволяет, учитывая квазистационарность теплового потока Западной Сибири начиная с юрского времени, однозначно восстанавливать значение фундаментального геодинамического параметра – плотность глубинного теплового потока.

5 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ СВИТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ТОМСКАЯ И НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТИ)

5.1. Характеристика объектов исследований

Моделирование геотермического режима нефтематеринских отложений выполнено для осадочных разрезов 3-х глубоких скважин (рис. 5.1): Северо-Фестивальная 1 (северо-восточный борт Нюрольской мегавпадины), Лугинецкая 183 (Пудинское мезоподнятие), расположенные на территории Томской области, и Верх-Тарская 7 (Межовский межавыступ), расположенная на территории Новосибирской области.

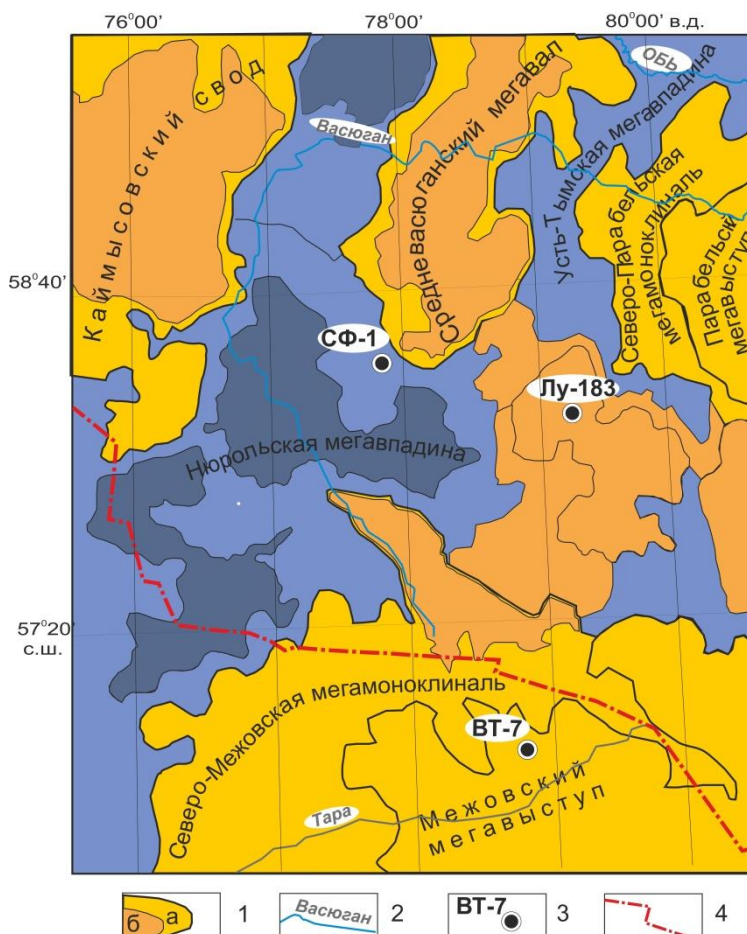


Рис. 5.1 Обзорная схема территории исследований (на тектонической основе [108]): 1 – структуры: а - I порядка, б - II порядка; 2 – реки; 3 – исследуемые скважины: Лу-183 – Лугинецкая 183, СФ-1 – Северо-Фестивальная 1, ВТ-7 – Верх-Тарская 7; 4 – административная граница между Томской и Новосибирской областями

На юго-востоке Западной Сибири (*Томская область*) нефтепромыслы сосредоточены главным образом в Нюрольской мегавпадине и на структурах ее обрамления. Нюрольская мегавпадина – отрицательная структура I порядка изометричной формы, осложняет южную часть Колтогорско-Нюрольского желоба, протягивающегося в субмеридианальном направлении в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Депрессия ограничена положительными структурами: с северо-запада – восточным склоном Каймысовского свода; с северо-востока – Средневасюганским мегавалом, с юго-востока – Северо-Межовской мегамоноклиной. Мегавпадину осложняют структуры более низкого ранга, в том числе структурные элементы III порядка: Кулан-Игайская и Тамрадская впадины, Осевой и Тамянский прогибы, Фестивальный вал и Игольско-Таловое куполовидное поднятие. Ряд локальных складок IV порядка представляют собой основной объем верхнеюрских антиклинальных ловушек.

В Новосибирской области все открытые залежи сосредоточены на севере. Верх-Тарское месторождение нефти является наиболее крупным. Оно приурочено к одноименной локальной структуре, осложняющей Межовский мегавыступ. По тектонической карте (под ред. А.Э. Конторовича, 1998 г.) с северо-востока структура граничит с Косецким мезопрогибом, с северо-запада – с Северо-Межовской мегамоноклиной. Месторождение приурочено к Верх-Тарской антиклинальной структуре северо-западного простирания, осложняющей одноименный структурный мыс, который к юго-востоку через ряд более мелких поднятий переходит в Калгачский выступ. Верх-Тарское поднятие, как и подавляющее число локальных поднятий III порядка Западно-Сибирской равнины, образовалось над эрозионно-тектоническими выступами фундамента.

Нюрольская мегавпадина по отражающему горизонту Φ_2 оконтурена изогипсой -3240 м, имеет амплитуду 400 м и площадь 11800 км² [109]. Карбонатные формации с прослоями эффузивов основного, среднего и кислого составов ордовик-каменноугольного возраста составляют доюрский фундамент, который повсеместно перекрыт мощным (до 3500 м) осадочным мезозойско-кайнозойским чехлом. Фрагментарно присутствуют терригенные породы тампейской серии промежуточного пермо-триасового этажа [110]. Залежи углеводородов (УВ) располагаются в доюрском, нижнеюрском, среднеюрском, верхнеюрском и меловом нефтегазоносных комплексах (НГК), в пределах которых открыто 49 месторождений.

Основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового НГК являются *нефтематеринские отложения баженовской свиты* (J_{3v}). Генерационный потенциал этих отложений в пределах исследуемой территории обусловлен высоким содержанием сапропелевого $C_{орг}$ (до 12 %), их повсеместным распространением и мощностью (до 30 м).

Для средне-нижнеюрского и палеозойского НГК основной генерирующей толщей является *тогурская нефтематеринская свита* (J_{1t_1}). Ее распространение в Нюрольской мегавпадине ограничивается пониженными формами рельефа. Высокое содержание гумусово-сапропелевого $C_{орг}$ (до 10 %) и катагенетическая преобразованность рассеянного органического вещества (РОВ) на уровне градации $МК_1^2$ - $МК_2$ определяет ее региональный генерационный потенциал [107].

В палеозойском НГК коллекторскими свойствами обладают изменённые породы, развитые по карбонатным и терригенно-карбонатным образованиям, а также кора выветривания по магматическим и метаморфическим породам кислого состава.

Нижнеюрский НГК представлен песчаными пластами $Ю_{17-16}$ урманской и $Ю_{15}$ салатской свит, с ловушками структурно-литологического и тектонически экранированного типа.

Среднеюрский НГК, сформировался в объёме тюменской свиты, где выделяются песчано-алевритовые пласты $Ю_{14-2}$, разделённые углисто-глинистыми пачками.

Верхнеюрский НГК объединяет васюганскую, георгиевскую и баженовскую свиты. Васюганская свита разделена по литологическому составу на нижнюю, существенно глинистую, и верхнюю подсвиты, где 4-5 песчаных пластов в совокупности составляют регионально-нефтегазоносный горизонт $Ю_1$. Георгиевская свита имеет глинистый состав и весьма непостоянную мощность по площади.

Меловой НГК характеризуется сложным геологическим строением пластов от берриаса до нижнего апта, преимущественным развитием неантиклинальных ловушек литологического и комбинированного типов [111].

В юго-восточной части Западной Сибири (Томская область) с востока на запад выделяется ряд палеогеоморфологических обстановок осадконакопления: континентальная, прибрежно-морская, мелководно-шельфовая (ундаформная), склоновая и депрессионная. Склоновую принято называть клиноформной частью морских отложений неокома. С использованием работы [112] обобщено развитие клиноформных неокомских отложений для Нюрольской мегавпадины и обрамляющих ее положительных структур [112, 113].

Верх-Тарское поднятие фиксируется по большинству маркирующих сейсмических горизонтов, выделяемых в его разрезе [114]. Наибольшую амплитуду оно имеет по отложениям кристаллического фундамента (105 м) и выполаживается вверх по разрезу (менее 30 м по горизонту IVб - подошве славгородской свиты верхнего мела).

На территории исследования промышленная нефтеносность установлена в отложениях верхней юры и верхней выветрелой части палеозойского комплекса. Промышленные залежи нефти Верх-Тарского месторождения связаны с отложениями горизонта $Ю_1$, который залегает в верхней части васюганской свиты.

Основным источником УВ для залежи *верхнеюрского НГК* служит рассеянное органическое вещество *баженовской свиты*. Ее мощность в скважинах колеблется от 40 до 58 м. Содержание $C_{орг}$ достигает 15-20 % [114]. Свита хорошо выдержана по латерали.

Васюганская свита согласно залегает на континентальных отложениях тюменской свиты и перекрывается георгиевской. Генетически отложения свиты являются регрессивно-трансгрессивной последовательностью с широким развитием песчаных пластов. Отложения свиты по направлению процессов седиментации по вертикали разделяются на регрессивный и трансгрессивный осадочные комплексы. К регрессивному комплексу относится верхняя часть нижневасюганской подсвиты и подугольная пачка. Трансгрессивный комплекс содержит отложения надугольной пачки. В переходный же период от регрессии к трансгрессии формировалась межугольная толща.

Нижневасюганская подсвита представлена аргиллитами с подчиненными прослоями песчаников и алевролитов. В ее основании развит песчано-алевролитовый пласт $Ю_2^0$ (пахомовская пачка), толщина которого варьирует от 0 до 15 м. Верхневасюганская подсвита представлена толщей переслаивающихся песчаников с прослоями углистых аргиллитов и углей. Полный разрез подсвиты содержит 4-5 песчаных пластов, совокупность которых формирует регионально-нефтегазоносный горизонт $Ю_1$. Песчаные пласты горизонта $Ю_1$ разделены межугольной пачкой на две: подугольную и надугольную.

Георгиевский горизонт соответствует объему георгиевской свиты. Последняя трансгрессивно залегает на васюганской, представлена аргиллитоподобными, иногда слабобитуминозными глинами, содержащими различное количество алевроитового материала и с неравномерным распределением глауконита. Возраст – ранний кимеридж – ранняя волга. Мощность свиты меняется от 0-7 м на сводах поднятий до 20-50 м во впадинах.

В табл. 5.1 приведены характеристики разрезов представительных глубоких скважин, в которых выполнено моделирование геотермического режима нефтематеринских отложений в пределах Лугинецкого, Северо-Фестивального и Верх-Тарского месторождений.

Вывод [42, 51, 115]: систематизация и анализ геолого-геофизических и геохимических данных по объекту исследований – юго-восточной части Западной Сибири – *создали параметрическую базу для палеотемпературного моделирования нефтематеринских отложений южно-сибирской палеоклиматической зоны.*

Таблица 5.1 Характеристики разрезов скважин Лугинецкая 183, Северо-Фестивальная 1, Верх-Тарская 7

Характеристики	Исследуемые скважины		
	Лугинецкая 183	Северо-Фестивальная 1	Верх-Тарская 7
Забой, м	2500	3270	2821
Отложения на забое (свита)	Средняя юра (тюменская)	Палеозой (PZ)	Палеозой (PZ)
Кровля тогурской свиты, м	-	3165	-
Мощность тогурской свиты, м	-	30	-
Кровля баженовской свиты, м	2313	2708	2408
Мощность баженовской свиты, м	16	23	58
Результаты испытаний (свита; пласт; тип флюида; дебит)	Васюганская; Ю ₁ ² ; нефть; 11, 5 м ³ /сут. Васюганская; Ю ₁ ² ; нефть; 13, 0 м ³ /сут.	Тюменская; Ю ₁₃₋₁₅ ; нефть; 2,57 м ³ /сут. Тюменская; Ю ₁₃₋₁₄ ; нефть; 0,28 м ³ /сут. Тюменская; Ю ₁₆ ; нефть; 0,13 м ³ /сут. Тюменская+палеозой; Ю ₁₆ +PZ; нефть, газ; 1,54 м ³ /сут, 890 м ³ /сут. Палеозой; PZ; газ; 410 м ³ /сут.	Васюганская; Ю ₁ ; нефть; 264,0 м ³ /сут. Васюганская; Ю ₁ ; нефть; 40,8 м ³ /сут. Васюганская; Ю ₁ ; нефть; 40,8 м ³ /сут.
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; пластовая температура)	Куломзинская; 2200 м; 77 °С. Тюменская; 2350 м; 84 °С	Тюменская; 3130 м; 118 °С. Тюменская; 3145 м; 123 °С	Васюганская; 2488 м; 80 °С. Васюганская; 2485 м; 85 °С. Васюганская; 2485 м; 86 °С.
«Измеренные» температуры по ОСВ (свита; глубина отбора; температура)	Васюганская; 2345 м; 98 °С	Тюменская; 3232м; 124 °С	Тюменская; 2735м; (0,70); 106 °С

Примечание. Данные испытаний глубоких скважин изучены и сведены из первичных «дел скважин» (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»). ОСВ определены в Лаборатории геохимии нефти и газа Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск).

5.2 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Лугинецкого месторождения

Параметризация осадочного разреза, вскрытого исследуемой скважиной Лугинецкая 183 (рис. 5.1, табл. 5.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии со стратиграфической разбивкой скважины по первичному «Делу скважины» и «Каталогам литолого-стратиграфических разбивок скважин» (табл. 5.2). Литология и плотность пород выделенных свит и толщ принимается по материалам обобщения петрофизических определений керна и каротажа.

Оценка влияния палеоклимата на термическую историю материнских отложений выполняется на основе верификации результатов 4-х основных вариантов палеотемпературного моделирования: *Вариант 1* – без учета палеоклимата, учет данных отражательной способности

витринита (ОСВ). *Вариант 2* – без учета палеоклимата и без учёта данных ОСВ. *Вариант 3* – учет данных ОСВ, учет «местного» векового хода температур [42]. *Вариант 4* – учет данных ОСВ, учет «стандартного» векового хода температур [18].

Таблица 5.2 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Лугинецкая 183 (без учета неоплейстоценого промерзания осадочного чехла)

Свита, толща* (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн лет назад	Время накопления, млн лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	25	1,64-0	1,64	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	–	1,64–4,71	3,07	–	–	–	–
Миоценовые N ₁	–	4,71–24,0	19,29	–	–	–	–
Некрасовская nk Pg ₃	84	24,0–32,2	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская + Люлинворская + Талицкая hg ll tl Pg ₃₋₁	173	32,2-61,7	29,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Славгородская + Ипатовская + Кузнецовская sl ip kz K ₂	364	73,2-91,6	29,9	2,15	1,4	7e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	803	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a _{1,2} K ₁₋₂	-	114,1–120,2	6,1	–	–	–	–
Киялинская kls K ₁	550	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	74	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klm K ₁	237	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	16	145,8–151,21	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	-	151,2–156,6	5,4	–	–	–	–
Васюганская vs J ₃₋₂	55	156,6–163,3	11,7	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₂	115	168,3–172,0	3,7	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

* – Данные литолого-стратиграфических разбровок из каталога (В.И. Волков, 2001; материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО») и первичного «Дела скважины» (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»). Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание.

Расчеты геотемператур выполнены на 46 моментов геологического времени (табл. 5.3). Заданные моменты геологического времени соответствуют временам «переломных» значений среднегодовых температур и временам начала/завершения формирования каждой свиты осадочной толщи, перекрывающей баженовскую. По геотемпературному критерию [100] выделены очаги интенсивной генерации баженовских нефтей.

Анализируя полученные расчетные геотемпературы (табл. 5.3), видим, что без учета палеоклимата, но с использованием в качестве измеренных и температуры по ОСВ (*Вариант 1*), геотермические условия для интенсивной генерации нефти из РОВ баженовской свиты могли наступить 32 млн. лет назад, после формирования чеганской свиты Pg₃₋₂-hg. Однако такой сценарий (вариант) термической истории неприемлем, т.к. расхождение расчетных геотемператур и «реперных» по ОСВ (природному «максимальному палеотермометру» [107]) слишком велико - 11°C (табл. 5.4).

Таблица 5.3 Геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Лугинецкая 183 (без учета неоплейстоценого промерзания осадочного чехла)

Время, млн лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли, °С		Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °С			
	«местный» [42]	«стандартный» [18]		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	+2	2321	88	82	81	87
0,005	+3	+2	2321	88	82	81	87
0,03	-2	+2	2321	88	82	81	87
0,05	-1	+2	2320	88	82	81	87
0,07	-4	+2	2320	88	82	80	87
0,09	-1	+2	2320	87	82	80	87
0,11	-4	+2	2319	87	82	80	87
0,13	-1	+2	2319	87	82	80	87
0,15	-4	+2	2319	87	82	80	87
0,19	-9	+2	2318	87	82	81	87
0,21	-6	+2	2318	87	82	82	87
0,235	-10	+2	2317	87	82	82	87
0,24	0	+2	2317	87	82	83	87
1,64	+1	+2	2296	87	82	83	87
3,1	+2	+2	2296	87	81	85	89
3,2	+2	+2	2295	86	81	89	89
3,8	+12	+5	2295	86	81	93	90
4,7	+3	+4	2295	86	81	85	86
5,2	-3	+4	2295	86	81	86	86
5,7	+7	+4	2295	86	81	89	86
6,3	+10	+4	2295	86	81	90	86
7	+4	+4	2295	86	81	86	87
20	+15	+7	2294	86	81	97	90
24	+16	+8	2294	86	81	98	88
31,5	+17	+9	2218	83	78	95	89
32,3	+16	+10	2210	83	77	94	89
34	+15	+12	2200	82	77	93	90
37,6	+14	+15	2179	81	76	91	98
41,7	+12	+19	2155	80	75	87	98
42	+11	+20	2153	80	75	87	98
46	+8	+21	2130	79	74	83	97
54,8	+19	+21	2078	77	72	92	95
58	+24	+20	2059	76	72	96	94
61,7	+22	+20	2037	75	70	92	91
73	+15	+20	1899	69	65	81	86
73,2	+16	+20	1897	69	65	81	86
86,5	+22	+20	1735	63	59	81	81
89,8	+22	+20	1695	62	57	80	79
90	+23	+20	1692	61	57	81	79
91,6	+22	+20	1673	58	55	77	76
114,1	+21	+20	870	30	28	49	50
118	+19	+20	869	29	28	47	50
120,2	+19	+20	869	29	28	47	49
132,4	+19	+20	319	11	10	29	32
136,1	+19	+20	245	9	8	27	30
145,8	+19	+20	8	1	0,3	19	23
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²				54.8	51.2	52.2	52.9

Примечание. Вариант 1 – без учета палеоклимата. Вариант 2 – без учета палеоклимата и без учёта данных ОСВ. Вариант 3 – учет «местного» векового хода температур. Вариант 4 – учет «стандартного» векового хода температур. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Если при палеотемпературном моделировании без учета палеоклимата еще и данные ОСВ проигнорировать (как возможно недостоверные), то в таком варианте 2 (табл. 5.3) геотермические условия для интенсивной генерации нефти из РОВ баженовской свиты не наступают. Но в этом случае (без существования палеоочагов генерации нефти в модели) нельзя объяснить наличие залежи нефти в верхнеюрских отложениях (табл. 5.1). И такой

вариант термической истории приходится исключить, как неадекватный установленной продуктивности разреза.

Таблица 5.4 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур скважины Лугинецкая 183 (без учета неоплейстоценого промерзания осадочного чехла)

Глубина , м	Измеренные температуры, °С	Способ измерения	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
			Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница
2200	77	Пластовые	83	+6	78	+1	78	+1	83	+6
2350	84	Пластовые	89	+5	83	-1	82	-2	88	+4
2345	98	По ОСВ	87	-11	-	-	99	+1	89	-9
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±8		±1		±1		±7	

Примечание: принимая во внимание, что измеренные пластовые температуры и температуры по ОСВ получены с погрешностью $\pm(2)$ °С, то погрешность расчетных значений теплового потока (при решении обратной задачи) оценивается в $\pm(1-2)$ мВт/м² [116]. В свою очередь, погрешность расчетных значений геотемператур (при решении прямых задач) должна составлять те же $\pm(2)$ °С.

Вариант 3 палеотемпературного моделирования с учетом палеоклимата по «местному» ходу температур на поверхности Земли оптимален, вполне адекватен и измеренным пластовым температурам, и температуре, соответствующей ОСВ (табл. 5.4). Наличие палеоочагов интенсивной генерации нефти объясняет вскрытую залежь в верхнеюрских отложениях.

При учете палеоклимата по «стандартному» ходу температур земной поверхности (вариант 4) имеет место несогласованность по критерию «невязки», особенно в части соответствия температуре по ОСВ – расхождение составляет 9°С.

Расчет интегрального показателя R для баженовских нефтей приведен в таблице 5.5. (табл.5.5). Максимальное значение плотности генерированных ресурсов обеспечивается более «богатой» термической историей баженовской свиты в варианте 3.

Таблица 5.5 Расчет интегрального показателя R , дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей, для вариантов учета палеоклимата (скважина Лугинецкая 183)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-оценка ресурсов (R), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов (n)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °С
Вариант 1	21	24	24,0–0,0	24,0	88
Вариант 2	-	-	-	-	-
Вариант 3	55	19	61,7–0,24; 42,0–3,1	61,5	98
Вариант 4	54	22	73,2–3,1	70,1	98

Примечание: Принимая во внимание, что погрешность расчетных значений геотемператур очагов генерации нефти составляет $\pm(2)$ °С, т.е. порядка (2-3)%, то погрешность экспресс-расчета ресурсов не превышает 5%. Заливкой обозначен вариант, приемлемый по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ, а также адекватный установленной продуктивности разреза.

Из анализа содержания таблиц 5.3, 5.4 и 5.5 однозначно следует, что реконструкции термической истории материнских баженовских отложений без учета палеоклимата не согласуются с данными ОСВ и установленной нефтегазоносностью разреза. Только при использовании при реконструкциях «местного» векового хода температур земной поверхности получаем приемлемый (по критерию «невязки») результат моделирования и значительный показатель плотности прогнозных ресурсов нефти, согласующийся с установленной нефтегазоносностью разреза.

Таким образом, именно вариант 3, учитывающий «местный» мезозойско-кайнозойский ход температур на земной поверхности [42] и данные отражательной способности витринита, представляет «богатую» термическую историю материнских отложений, а, следовательно, обеспечивает расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей. Наличие в результатах варианта 3 палеоочагов интенсивной генерации баженовской нефти (табл. 5.3) объясняет притоки нефти из верхнеюрских отложений скважины Лугинецкая 183 (табл. 5.1).

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитывается как своеобразный литолого-стратиграфический комплекс (табл. 5.6 и 5.7), обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Количественное определение влияния палеоклимата, включая криогенные процессы в осадочном разрезе, на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов трех вариантов палеотемпературных реконструкций. Вариант 5 – учет «местного» векового хода температур на поверхности Земли [42], учет неоплейстоценовой мерзлоты мощностью до 300 м. Вариант 6 – учет «местного» векового хода температур, без учета мерзлоты (аналог варианта 3 таблиц 5.3-5.5). Вариант 7 – учет «местного» векового хода температур, учет неоплейстоценовой мерзлоты с гипотетической мощностью до 1000 м.

В варианте 5 (табл. 5.6) приняли мощность толщи мерзлоты 300 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 240 тыс. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 1,5+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [97]. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 179 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (1,5+3,0 тыс. лет) толща вечной мерзлоты заменяется «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует «нормальный» осадочный чехол до настоящего времени, в последние 52 тыс. лет.

Таблица 5.6 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Лугинецкая 183 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 300 метров)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	—	0,052–0,00	0,052	—	—	—	—
Четвертичные Q	300	0,055–0,052	0,003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
Четвертичные Q	–300	0,0565–0,055	0,0015	–	–	–	–
Четвертичные Q	—	0,2355–0,0565	0,179	—	—	—	—
Четвертичные Q	300	0, 2385–0,2355	0,003	2,10	2,09	1.05e-006	1,22e-006
Четвертичные Q	–300	0,24–0, 2385	0,0015	–	–	–	–
Четвертичные Q	25	1,64–0,24	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	—	1,64–4,71	3,07	—	—	—	—
Миоценовые N ₁	—	4,71–24,0	19,29	—	—	—	—
Некрасовская nk Pg ₃	84	24,0–32,2	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская + Люлинворская + Талицкая hg ll tl Pg ₃₋₁	173	32,2–61,7	29,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Славгородская + Ипатовская + Кузнецовская sl ip kz K ₂	364	73,2–91,6	29,9	2,15	1,4	7e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	803	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a _{1,2} K ₁₋₂	—	114,1–120,2	6,1	—	—	—	—
Киялинская kls K ₁	550	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	74	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klmK ₁	237	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	16	145,8–151,21	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	—	151,2–156,6	5,4	—	—	—	—
Васюганская vs J ₃₋₂	55	156,6–168,3	11,7	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₂	115	168,3–172,0	3,7	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Серой заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-серой заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание.

В варианте 7 (табл. 5.7) взяли мощность мерзлоты в 1000 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется также как и для предыдущего варианта, начиная с 240 тыс. лет назад. Замена «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлоты осуществлялась по геологическому времени за 5,0 + 3,0 тыс. лет. После этого, толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 206 тыс. лет, затем, вечная мерзлота заменяется (за 5,0+3,0 тыс. лет) «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует современный разрез 18 тыс. лет.

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине приведено в табл. 5.8. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка ±2°C, то вариант 7 решений нельзя признать приемлемым. В этом варианте «невязка» превышает оптимальную более чем в 4 раза, а разница с ОСВ (с «максимальным палеотермометром») достигает 12 °C.

Таблица 5.7 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Лугинецкая 183 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 1000 метров)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	–	0,018–0,0	0,018	–	–	–	–
Четвертичные Q	1000	0.021–0.018	0.003	2,20	1,3	7e-007	1,22e-006
Четвертичные Q	–1000	0,026–0,021	0,005	–	–	–	–
Четвертичные Q	–	0,232–0,026	0,206	–	–	–	–
Четвертичные Q	1000	0,235–0,232	0,003	2,20	2,09	1.05e-006	1,2e-006
Четвертичные Q	-1000	0,24–0,235	0,005	–	–	–	–
Четвертичные Q	25	1,64–0,24	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	–	1,64–4,71	3,07	–	–	–	–
Миоценовые N ₁	–	4,71–24,0	19,29	–	–	–	–
Некрасовская nk Pg ₃	84	24,0–32,2	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская + Люлинворская + Талицкая hg ll tl Pg ₃₋₁	173	32,2–61,7	29,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Славгородская + Ипатовская + Кузнецовская sl ip kz K ₂	364	73,2–91,6	29,9	2,15	1,4	7e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	803	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a _{1,2} K ₁₋₂	–	114,1–120,2	6,1	–	–	–	–
Киялинская kls K ₁	550	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	74	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klm K ₁	237	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	16	145,8–151,21	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	–	151,2–156,6	5,4	–	–	–	–
Васюганская vs J ₃₋₂	55	156,6–168,3	11,7	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₂	115	168,3–172,0	3,7	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Те же, что к табл. 5.6.

Таблица 5.8 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Лугинецкая 183 (учет мощности неоплейстоценовой мерзлоты)

Глубина, м	Измеренные («наблюдаемые») температуры, °C	Способ измерения	Вариант 5, °C		Вариант 6(3), °C		Вариант 7, °C	
			Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница
2200	77	Пластовые	76	–1	78	+1	70	–7
2350	84	Пластовые	81	–3	82	–2	76	–8
2345	98	По ОСВ	101	+3	99	+1	110	+12
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °C			±2		±1		±9	

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 5.9) показывает следующее. В вариантах 1, 3 тепловой поток увеличивается на 1,4–7,1 мВт/м² (на 3–14 %) по отношению к расчетному значению теплового потока варианта 2 – 52.2 мВт/м².

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 5.9) в разрезе скважины свидетельствует о том, что в вариантах 5,6(3) и 7 материнская свита имеет «богатые», но разные термические истории главной фазы нефтеобразования (ГФН).

Таблица 5.9 Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Лугинецкая 183 (учет неоплейстоценовой мерзлоты)

Время, млн. лет назад	Местный вековой ход температур на поверхности Земли [42], °C	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы свиты, °C		
			Вариант 5	Вариант 6(3)	Вариант 7
0	0	2321	80	81	75
0.001	+1	2321	80	81	75
0.003	+2	2321	80	81	75
0.005	+3	2321	80	81	75
0.018	+1	2320	80	81	77
0.03	-2	2321	79	81	78
0.05	-1	2320	79	81	78
0.052	-1	2320	79	81	78
0.055	-1	2321	79	81	78
0.0565	-2	2320	79	81	78
0.07	-4	2319	79	80	78
0.09	-1	2319	79	80	78
0.11	-4	2319	79	80	78
0.13	-1	2319	79	80	78
0.15	-4	2318	80	80	78
0.19	-9	2318	83	81	79
0.21	-6	2317	84	82	82
0.222	-7	2317	85	82	82
0.225	-8	2317	86	82	86
0.235	-10	2317	86	82	91
0.2355	-9	2317	86	82	94
0.2385	-2	2317	86	83	94
0.24	0	2317	86	83	95
1.4	+1	2299	86	83	94
1.64	+1	2296	86	83	95
3.1	+2	2295	88	85	96
3.2	+2	2295	89	89	97
3.8	+12	2295	95	93	104
4.7	+3	2295	88	85	96
5.2	-3	2294	89	86	97
5.7	+7	2294	92	89	101
6.3	+10	2294	94	90	102
7	+4	2294	89	86	97
20	+15	2294	100	97	108
24	+16	2294	101	98	110
31,5	+17	2218	98	95	107
32,3	+16	2210	97	94	105
34	+15	2200	96	93	103
37,6	+14	2178	94	91	101
41,7	+12	2154	90	87	98
42	+11	2158	89	87	97
46	+8	2129	86	83	93
54,8	+19	2077	95	92	102
58	+24	2058	99	96	106
61,7	+22	2037	95	92	102
73	+15	1899	83	81	90
73,2	+16	1897	83	81	90
86,5	+22	1735	83	81	90
89,8	+22	1694	82	80	88
90	+23	1692	82	81	88
91,6	+22	1673	79	77	85
114,1	+21	870	50	49	53
118	+19	869	48	47	51
120,2	+19	869	47	47	51
132,4	+19	319	29	29	30
136,1	+19	245	14	27	18
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м2			53.6	52.2	59.3

Примечание. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

ГФН этих вариантов имеют разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также содержат относительные максимумы геотемператур в геологическом прошлом. Но *вариант 7* по критерию «невязки» нельзя признать приемлемым.

В *вариантах 5 и 7* присутствие толщи вечномерзлых пород, обладающих высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a , приводит к увеличению расчетных значений плотности теплового потока q , что, в свою очередь, увеличивает расчетные геотемпературы материнских отложений.

Расчет интегрального показателя R для *баженовских нефтей* (табл.5.10) дает максимальное значение для *приемлемого варианта 5* (68 усл. ед.). В этом варианте, помимо учета векового хода температур на дневной поверхности, учтено присутствие неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300 м. Указанное максимальное значение почти на 25% больше чем в *варианте 6(3)* (55 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур. Максимальное значение плотности генерированных ресурсов следует из более «богатой» термической истории баженовской свиты в *варианте 6* (табл. 5.8).

Таблица 5.10 Оценка плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей (R) для вариантов учета палеоклимата (скважина Лугинецкая 183, учет неоплейстоценовой мерзлоты)

Вариант палеотемпературного моделирования	Расчетные ресурсы (R), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов (n)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C
Вариант 5	68	24	61,7–0,222	61,5	101
Вариант 6(3)	55	19	61,7–54,8; 42–3,1	45,8	98
Вариант 7	109	23	91,6–0,21	91,4	110

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, именно *вариант 5*, вполне корректный по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно (в контексте проведенных исследований) учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую подсчетную плотность ресурсов генерированных нефтей. Наличие в результатах *варианта 5* палеоочагов интенсивной генерации баженовской нефти (табл. 5.9) хорошо объясняет вскрытую скважиной Лугинецкая 183 промышленную залежь в верхнеюрских отложениях (табл. 5.1).

Выводы:

1. На примере представительной скважины Лугинецкого месторождения, расположенного на положительной структуре восточного обрамления Нюрольской

мегавпадины, установлено, что неучет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю баженовских материнских отложений.

2. Учет палеоклимата обуславливает увеличение расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений.

3. *Вариант 5* на Лугинецком месторождении Томской области наиболее полно учитывает два основных фактора палеоклимата (вековой ход на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту). Именно *вариант 5* и представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений, что и обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

4. Таким образом, можно констатировать, что при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом, в случае не учета палеоклиматических факторов по «местному» мезозойско-кайнозойскому ходу температур на земной поверхности, расчетные ресурсы УВ могут быть существенно занижены (по экспресс-расчету – до 25 %).

5. Получены результаты, указывающие на необходимость учета данных ОСВ («максимального палеотермометра») для корректного восстановления термической истории нефтематеринских отложений. Показано, что неучет данных ОСВ может приводить к существенным ошибкам в оценке ресурсов, вплоть до «пропуска» ресурсов.

5.3 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала тогурских и баженовских нефтематеринских отложений Северо-Фестивального месторождения

Северо-Фестивальное месторождение, в отличие от Лугинецкого месторождения на Пудинском мезоподнятии – положительной структуры обрамления Нюрольской мегавпадины, расположено в депрессионной части мегавпадины.

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной Северо-Фестивальная 1 (рис. 5.1, табл. 5.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии со стратиграфической разбивкой скважины по первичному «Делу скважины» и «Каталогу литолого-стратиграфических разбивок скважин» (табл. 5.11). Возраст пород и соответствующие вековые интервалы шкалы геологического времени [99], увязанные с периодами геохронологической шкалы Стратиграфического кодекса (1992 г.), определяют время и скорости осадконакопления.

Таблица 5.11 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Северо-Фестивальная 1 (без учета неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща* (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	35	1,64-0	1,64	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	–	1,64–4,71	3,07	–	–	–	–
Миоценовые N ₁	–	4,71–24,0	19,29	–	–	–	–
Некрасовская nk Pg ₃	154	24,0–32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3–41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская ll Pg ₂	240	41,7–54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	70	54,8–61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская P ₁ -K _{2gn}	170	61,7–73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	130	73,2–86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	-	86,5–89,8	3,3	-	-	-	-
Кузнецовская kz K ₂	15	89,8–91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	800	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	24	114,1–116,3	2,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₁ K ₁	17	116,3–120,2	3,9	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Киялинская kls K ₁	613	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	54	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klm K ₁	313	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bq J ₃	23	145,8–151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	5	151,2–156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	70	156,6–162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	362	162,9–200,8	37,9	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Тогурская tg J ₁	30	200,8–203,9	3,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Урманская ur J ₁	39	203,9–208,0	4,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

* – Данные литолого-стратиграфических разбивок из каталога (В.И. Волков, 2001; материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО») и первичного «Дела скважины» (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»). Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских тогурской и баженовской свит и их параметрическое описание.

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитывается как своеобразный литолого-стратиграфический комплекс (табл. 5.12 и 5.13), обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – учет «местного» векового хода температур на поверхности Земли [42], учет неоплейстоценовой мерзлоты мощностью до 300 м. *Вариант 2* – учет «местного» векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 3* – без учета векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 4* – учет «местного» векового хода температур, учет неоплейстоценовой мерзлоты с гипотетической мощностью до 1000 м.

В варианте 1 (табл. 5.12) приняли мощность толщи мерзлоты 300 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 240 тыс. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 1,5+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками

– теплопроводность, температуропроводность [97]. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 179 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (1,5+3,0 тыс. лет) толща вечной мерзлоты заменяется «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует «нормальный» осадочный чехол до настоящего времени, в последние 52 тыс. лет.

Таблица 5.12 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Северо-Фестивальная 1 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 300 метров)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	-	0,052-0,00	0,052	-	-	-	-
Четвертичные Q	300	0,055-0,052	0,003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
Четвертичные Q	-300	0,0565-0,055	0,0015	-	-	-	-
Четвертичные Q	-	0,2355-0,0565	0,179	-	-	-	-
Четвертичные Q	300	0,2385-0,2355	0,003	2,10	2,09	1,05e-006	1,22e-006
Четвертичные Q	-300	0,24-0,2385	0,0015	-	-	-	-
Четвертичные Q	35	1,64-0,24	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	-	1,64-4,71	3,07	-	-	-	-
Миоценовые N ₁	-	4,71-24,0	19,29	-	-	-	-
Некрасовская nk Pg ₃	154	24,0-32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3-41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская ll Pg ₂	240	41,7-54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	70	54,8-61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская P ₁ -K _{2qn}	170	61,7-73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	130	73,2-86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	-	86,5-89,8	3,3	-	-	-	-
Кузнецовская kz K ₂	15	89,8-91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	800	91,6-114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	24	114,1-116,3	2,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₁ K ₁	17	116,3-120,2	3,9	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Киялинская kls K ₁	613	120,2-132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	54	132,4-136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klm K ₁	313	136,1-145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	23	145,8-151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	5	151,2-156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	70	156,6-162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	362	162,9-200,8	37,9	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Тогурская tg J ₁	30	200,8-203,9	3,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Урманская ur J ₁	39	203,9-208,0	4,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Серой заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-серой заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских тогурской и баженовской свит и их параметрическое описание.

В варианте 4 (табл. 5.13) взяли мощность мерзлоты в 1000 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется также как и для предыдущего варианта, начиная с 240 тыс. лет назад. Замена «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлоты осуществлялась по геологическому времени за 5,0 + 3,0 тыс. лет. После этого, толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 206 тыс. лет, затем, вечная мерзлота заменяется (за 5,0+3,0 тыс. лет) «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует современный разрез 18 тыс. лет.

Таблица 5.13 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Северо-Фестивальная 1 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 1000 метров)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	-	0,011-0,00	0,018	-	-	-	-
Четвертичные Q	1000	0,021-0,011	0,003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
Четвертичные Q	-1000	0,026-0,021	0,005	-	-	-	-
Четвертичные Q	-	0,232-0,026	0,206	-	-	-	-
Четвертичные Q	1000	0,235-0,232	0,003	2,10	2,09	1,05e-006	1,22e-006
Четвертичные Q	-1000	0,24-0,235	0,005	-	-	-	-
Четвертичные Q	35	1,64-0,24	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	-	1,64-4,71	3,07	-	-	-	-
Миоценовые N ₁	-	4,71-24,0	19,29	-	-	-	-
Некрасовская nk Pg ₃	154	24,0-32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3-41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская ll Pg ₂	240	41,7-54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	70	54,8-61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская P ₁ -K _{2qn}	170	61,7-73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	130	73,2-86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	-	86,5-89,8	3,3	-	-	-	-
Кузнецовская kz K ₂	15	89,8-91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	800	91,6-114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	24	114,1-116,3	2,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₁ K ₁	17	116,3-120,2	3,9	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Киялинская kls K ₁	613	120,2-132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	54	132,4-136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klmK ₁	313	136,1-145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	23	145,8-151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	5	151,2-156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	70	156,6-162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	362	162,9-200,8	37,9	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Тогурская tg J ₁	30	200,8-203,9	3,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006
Урманская ur J ₁	39	203,9-208,0	4,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Серой заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-серой заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских тогурской и баженовской свит и их параметрическое описание.

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине приведено в табл. 5.14. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка ± 2 °С, то варианты 3 и 4 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную более чем в 2 раза, а разница с ОСВ достигает 7–13 °С.

Таблица 5.14 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Северо-Фестивальная 1

Глубина, м	Измеренные («наблюденные») температуры, °С	Способ измерения	Вариант 1, °С		Вариант 2, °С		Вариант 3, °С		Вариант 4, °С	
			Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница	Расчетные температуры	Разница
3130	118	Пластовые	117	–1	119	+1	124	+6	114	–4
3145	123	Пластовые	118	–5	119	–4	124	+1	114	–8
3232	124	По ОСВ	130	+6	128	+4	117	–7	137	+13
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±4		±3		±5		±9	

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 5.15) показывает следующее.

Таблица 5.15 Расчетные геотемпературы баженовской свиты скважины Северо-Фестивальная 1

Время, млн. лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли [42], °C	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы свиты, °C			
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	2720	103	105	109	98
0.001	+1	2720	103	105	109	98
0.003	+2	2720	103	105	109	98
0.005	+3	2720	103	105	109	98
0.018	+1	2720	103	105	109	98
0.03	-2	2720	103	105	109	98
0.05	-1	2720	103	105	109	98
0.052	-1	2720	103	105	109	98
0.055	-1	2720	103	105	109	98
0.0565	-2	2720	103	105	109	98
0.07	-4	2720	103	105	109	98
0.09	-1	2720	103	105	109	98
0.11	-4	2720	103	105	109	98
0.13	-1	2720	103	105	109	98
0.15	-4	2720	103	105	109	98
0.19	-9	2720	103	105	109	98
0.21	-6	2720	103	105	109	98
0.222	-7	2720	103	105	109	98
0.225	-8	2720	103	105	109	98
0.235	-10	2720	103	105	109	98
0.2355	-9	2720	103	105	109	98
0.2385	-2	2720	103	105	109	98
0.24	0	2720	103	105	109	98
1.4	+1	2695	107	106	108	114
1.64	+1	2695	107	106	108	114
3.1	+2	2683	110	108	108	116
3.2	+2	2683	110	108	108	116
3.8	+12	2683	110	108	108	116
4.7	+3	2683	114	112	108	120
5.2	-3	2682	110	108	108	116
5.7	+7	2682	110	108	108	116
6.3	+10	2682	115	113	108	121
7	+4	2682	111	109	108	117
20	+15	2682	122	120	108	128
24	+16	2677	122	120	107	128
31,5	+17	2547	117	115	101	123
32,3	+16	2529	115	114	101	121
34	+15	2513	113	112	100	119
37,6	+14	2491	112	110	99	118
41,7	+12	2461	109	107	98	114
42	+11	2438	106	105	96	112
46	+8	2374	101	99	93	106
54,8	+19	2228	104	102	87	109
58	+24	2183	108	106	85	113
61,7	+22	2152	105	103	84	110
73	+15	1977	91	89	76	95
73,2	+16	1977	91	89	76	95
86,5	+22	1850	91	90	70	95
89,8	+22	1847	91	90	70	95
90	+23	1843	91	90	70	96
91,6	+22	1835	91	90	69	95
114,1	+21	1030	58	57	37	60
118	+19	999	55	53	36	56
120,2	+19	988	54	53	35	56
132,4	+19	386	32	32	13	33
136,1	+19	319	30	30	11	30
145,8	+19	29	20	20	1	20
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²			56.8	55.7	57.3	60.4

Примечание. *Вариант 1* – учет «местного» [42] векового хода температур, учет вечной мерзлоты 300 м. *Вариант 2* – учет векового хода температур, без учета вечной мерзлоты. *Вариант 3* – без учета векового хода температур, без учета вечной мерзлоты. *Вариант 4* – учет векового хода температур, учет вечной мерзлоты 1000 м. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

В вариантах *1, 3 и 4* тепловой поток увеличивается на 1,1–1,6–4,7 мВт/м² (на 2–3–9 %) по отношению к расчетному значению теплового потока *варианта 2* – 55.7 мВт/м².

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 5.15) в разрезе скважины свидетельствует о том, что в *варианте 3* (без учета палеоклимата) материнская свита «пережила» на половину короткую, по сравнению с *вариантами 1, 2, 4*, и наиболее «холодную» главную фазу нефтеобразования (ГФН).

В *вариантах 1, 2 и 4* (с учетом палеоклимата) баженовская свита имеет разные термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют одинаковые по времени проявления, но заметно разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также содержат относительные максимумы геотемператур в геологическом прошлом.

Расчет интегрального показателя R для баженовских нефтей (табл. 5.16) дает несколько большее значение для *варианта 1* (97 усл. ед.). Указанное значение (97 усл. ед.) на 67% больше чем в *варианте 3* (58 усл. ед.), в котором палеоклимат не учтен. Максимальное значение плотности генерированных ресурсов обеспечивается более «богатой» термической истории баженовской свиты в *варианте 1* (табл. 5.15).

Таблица 5.16 Расчет интегрального показателя *R*, дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей, для вариантов учета палеоклимата (скважина Северо-Фестивальная 1)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-оценка ресурсов (<i>R</i>), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов (<i>n</i>)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C
Вариант 1	97	51	91,6–0	91,6	122
Вариант 2	95	51	91,6–0	91,6	120
Вариант 3	58	45	58,0–0	58,0	109
Вариант 4	102	51	91,6–0	91,6	128

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые и равноценные по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, именно *вариант 1*, учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских *баженовских* отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей. Наличие в результатах *варианта 1* палеоочагов интенсивной

генерации баженовской нефти (табл. 5.15) объясняет нефтепроявления в керне верхнеюрских отложений скважины Северо-Фестивальная 1, хотя коллектор ($Ю_1$) здесь не встречен (табл. 5.1).

Анализ термической истории тогурской свиты (табл. 5.17) в разрезе скважины Северо-Фестивальная 1 свидетельствует о том, что в *варианте 3* (без учета палеоклимата, т. е. без учета векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты) материнская свита «пережила» самую короткую и самую «холодную» главную фазу нефтеобразования (ГФН).

В *вариантах 1, 2 и 4* (с учетом палеоклимата) тогурская свита имеет «богатые», но разные термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также содержат относительные максимумы геотемператур в геологическом прошлом.

Расчет интегрального показателя R (табл. 5.18) – экспресс-расчет плотности ресурсов генерированных ресурсов *тогурских нефтей* – дает максимальное значение для *приемлемого варианта 1* (111 усл. ед.). В этом варианте, помимо учета векового хода температур на дневной поверхности, учтено присутствие неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300 м. Указанное максимальное значение примерно тоже, что и в *варианте 2* (109 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур, и на 56% больше, чем в *варианте 3* (71 усл. ед.), в котором не учтен ни один фактор палеоклимата. Максимальное значение плотности генерированных ресурсов обусловлено более «богатой» термической историей баженовской свиты в *варианте 1* (табл. 5.17).

Таким образом, именно *вариант 1*, достаточно корректный по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно (в контексте проведенных исследований) учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю *тогурских* материнских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

Наличие в результатах *варианта 1* палеоочагов интенсивной генерации тогурской нефти (табл. 5.17) хорошо объясняет вскрытую скважиной Северо-Фестивальная 1 залежь нефти в нижнеюрских отложениях (табл. 5.1). Причем, именно в *варианте 1* в наиболее длительный период 34–6 млн лет назад (табл. 5.17) наступают катагенетические условия глубинной зоны газообразования (геотемпературы достигают 138°C), что хорошо согласуется с газоносностью нижнеюрского и палеозойского НГК (табл. 5.1).

Таблица 5.17 Расчетные геотемпературы тогурской свиты в разрезе скважины Северо-Фестивальная 1

Время, млн. лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли [42], °C	Глубина положения тогурской свиты, м	Геотемпературы свиты, °C			
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	3183	119	120	125	115
0.001	+1	3182	119	120	125	115
0.003	+2	3182	119	120	125	115
0.005	+3	3182	119	120	125	115
0.018	+1	3182	119	120	125	115
0.03	-2	3182	119	120	125	115
0.05	-1	3181	119	120	125	115
0.052	-1	3181	119	120	125	115
0.055	-1	3181	119	120	125	115
0.0565	-2	3181	119	120	125	115
0.07	-4	3181	119	119	125	115
0.09	-1	3180	119	119	125	115
0.11	-4	3180	119	119	125	115
0.13	-1	3179	119	119	125	115
0.15	-4	3179	119	120	125	115
0.19	-9	3178	119	120	125	115
0.21	-6	3177	119	121	125	115
0.222	-7	3177	119	120	125	115
0.225	-8	3177	119	121	125	115
0.235	-10	3177	119	121	125	115
0.2355	-9	3177	119	121	125	115
0.2385	-2	3177	119	121	125	115
0.24	0	3177	119	122	125	115
1.4	+1	3158	124	122	124	131
1.64	+1	3158	124	122	124	131
3.1	+2	3147	126	124	124	133
3.2	+2	3147	126	124	124	133
3.8	+12	3147	126	124	124	133
4.7	+3	3147	130	128	124	138
5.2	-3	3146	126	124	124	133
5.7	+7	3146	126	124	124	134
6.3	+10	3146	132	129	124	139
7	+4	3146	127	124	124	134
20	+15	3146	138	135	124	145
24	+16	3141	138	136	124	146
31,5	+17	3011	133	131	117	140
32,3	+16	2993	132	130	117	139
34	+15	2977	130	128	116	137
37,6	+14	2955	128	126	115	135
41,7	+12	2925	125	123	114	131
42	+11	2913	123	121	113	130
46	+8	2838	117	115	110	124
54,8	+19	2687	120	118	103	126
58	+24	2647	124	122	101	130
61,7	+22	2616	121	119	100	127
73	+15	2441	107	105	92	113
73,2	+16	2441	107	105	92	113
86,5	+22	2314	107	105	87	113
89,8	+22	2311	107	105	86	113
90	+23	2307	107	105	86	113
91,6	+22	2299	107	105	86	112
114,1	+21	1491	74	73	54	77
118	+19	1463	71	70	53	74
120,2	+19	1453	71	70	52	73
132,4	+19	850	49	48	30	50
136,1	+19	783	46	46	28	48
145,8	+19	493	36	36	17	37
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²			56.8	55.7	57.3	60.4

Примечание. *Вариант 1* – учет «местного» векового хода температур [42], учет вечной мерзлоты 300 м. *Вариант 2* – учет векового хода температур, без учета вечной мерзлоты. *Вариант 3* – без учета векового хода температур, без

учета вечной мерзлоты. *Вариант 4* – учет векового хода температур, учет вечной мерзлоты 1000 м. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Таблица 5.18 Расчет интегрального показателя R , дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных тогурских нефтей, для вариантов учета палеоклимата (скважина Северо-Фестивальная 1)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-расчет ресурсов (R), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов (n)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C
Вариант 1	111	51	91,6–0	91,6	138
Вариант 2	109	51	91,6–0	91,6	136
Вариант 3	71	45	61,7–0	61,7	125
Вариант 4	117	51	91,6–0	91,6	146

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые и равноценные по оптимальной согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Выводы:

1. На примере разреза представительной скважины Северо-Фестивального месторождения, расположенного в депрессионной части Нюрольской мегавпадины, установлено, что не учет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю *баженовских и тогурских* нефтематеринских отложений.

2. Учет палеоклимата (*варианты 1, 2 и 4*) обуславливает увеличение расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений на 13–11–22 °C. Конечно, последнее значение (22 °C), соответствующее вечной мерзлоте мощностью 1000 м, маловероятны для *юго-востока* Западной Сибири. Тем не менее, полученные результаты вполне согласуются с априорным предположением о существенном влиянии резкого похолодания климата в конце плиоцена на геотермический режим осадочного чехла Западной Сибири.

3. *Вариант 1* на Северо-Фестивальном месторождении Томской области наиболее полно учитывает два основных фактора палеоклимата (вековой ход на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту). Именно *вариант 1* и представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений, что и обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных *баженовских и тогурских* нефтей на землях *юго-востока* Западной Сибири.

4. Таким образом, есть основания констатировать, что при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом, в случае не учета палеоклиматических факторов расчетные ресурсы УВ могут быть существенно занижены (по экспресс-расчету – до 50-70 %).

5.4 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Верх-Тарского месторождения

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной Верх-Тарская 7, (рис. 5.1, табл. 5.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии со стратиграфической разбивкой скважины по первичному «Делу скважины» (табл. 5.19). Возраст пород и соответствующие вековые интервалы шкалы геологического времени [99], увязанные с периодами геохронологической шкалы Стратиграфического кодекса (1992 г.), определяют время и скорости осадконакопления.

Таблица 5.19 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Верх-Тарская 7 (без учета неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн лет назад	Время накопления, млн лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	20	1,64-0	1,64	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	-	1,64–4,71	3,07	-	-	-	-
Миоценовые N ₁	-	4,71–24,0	19,29	-	-	-	-
Некрасовская nk Pg ₃	130	24,0–32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3–41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская llPg ₂	50	41,7–54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	20	54,8–61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская gnP ₁ -K ₂	106	61,7–73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	62	73,2–86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	162	86,5–89,8	3,3	2,18	1,4	7e-007	1,25e-006
Кузнецовская kz K ₂	33	89,8–91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	846	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	-	114,1–116,3	2,2	-	-	-	-
Алымская a ₁ K ₁	-	116,3–120,2	3,9	-	-	-	-
Киялинская kls K ₁	673	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	51	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klmK ₁	185	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bq J ₃	58	145,8–151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	15	151,2–156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	59	156,6–162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	202	162,9–208,0	45,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Литолого-стратиграфические разбивки изучены и сведены из первичного «дела скважины» (фондовые материалы Томского филиала ФБУ «ТФГИ по СФО»). Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание.

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитывается как своеобразный литолого-стратиграфический комплекс (табл. 5.20, 5.21), обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов

палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – учет «местного» векового хода температур на поверхности Земли [42], учет неоплейстоценовой мерзлоты мощностью до 300 м. *Вариант 2* – учет «местного» векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 3* – без учета векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 4* – учет «местного» векового хода температур, учет неоплейстоценовой мерзлоты с *гипотетической* мощностью до 1000 м.

В варианте 1 (табл. 5.20) приняли мощность толщи мерзлоты 300 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 240 тыс. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 1,5+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [97]. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 179 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (1,5+3,0 тыс. лет) толща вечной мерзлоты заменяется «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует «нормальный» осадочных чехол до настоящего времени, в последние 52 тыс. лет.

Таблица 5.20 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Верх-Тарская 7 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 300 метров)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	–	0,052–0,00	0,052	–	–	–	–
Четвертичные Q	300	0,055–0,052	0,003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
Четвертичные Q	–300	0,0565–0,055	0,0015	–	–	–	–
Четвертичные Q	–	0,2355–0,0565	0,179	–	–	–	–
Четвертичные Q	300	0,2385–0,2355	0,003	2,10	2,09	1.05e-006	1,22e-006
Четвертичные Q	–300	0,24–0,2385	0,0015	–	–	–	–
Четвертичные Q	20	1,64–0,24	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	–	1,64–4,71	3,07	–	–	–	–
Миоценовые N ₁	–	4,71–24,0	19,29	–	–	–	–
Некрасовская nk Pg ₃	130	24,0–32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3–41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская lIPg ₂	50	41,7–54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	20	54,8–61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская gnP _{1-K2}	106	61,7–73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	62	73,2–86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	162	86,5–89,8	3,3	2,18	1,4	7e-007	1,25e-006
Кузнецовская kz K ₂	33	89,8–91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	846	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	–	114,1–116,3	2,2	–	–	–	–
Алымская a ₁ K ₁	–	116,3–120,2	3,9	–	–	–	–
Киялинская kls K ₁	673	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	51	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klmK ₁	185	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	58	145,8–151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	15	151,2–156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	59	156,6–162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	202	162,9–208,0	45,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Серой заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-серой заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание.

В варианте 4 (табл. 5.21) взяли мощность мерзлоты в 1000 метров. Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется также как и для предыдущего варианта, начиная с 240 тыс. лет назад. Замена «нормальных» осадочных отложений толщей мерзлоты осуществлялась по геологическому времени за 5,0 + 3,0 тыс. лет. После этого, толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 206 тыс. лет, затем, вечная мерзлота заменяется (за 5,0+3,0 тыс. лет) «нормальными» осадочными отложениями. И, далее существует современный разрез 18 тыс. лет.

Таблица 5.21 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Верх-Тарская 7 (мощность неоплейстоценовой мерзлоты 1000 метров)

Свита, толща* (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Четвертичные Q	-	0,011-0,00	0,018	-	-	-	-
Четвертичные Q	1000	0,021-0,011	0,003	2,2	1,3	6,5e-007	1,2e-006
Четвертичные Q	-1000	0,026-0,021	0,005	-	-	-	-
Четвертичные Q	-	0,232-0,026	0,206	2,2	2,09	1,05e-006	1,2e-006
Четвертичные Q	1000	0,235-0,232	0,003	2,2	2,09	1,05e-006	1,2e-006
Четвертичные Q	-1000	0,24-0,235	0,005	-	-	-	-
Четвертичные Q	20	1,64-0	1,4	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые N ₂	-	1,64-4,71	3,07	-	-	-	-
Миоценовые N ₁	-	4,71-24,0	19,29	-	-	-	-
Некрасовская nk Pg ₃	130	24,0-32,3	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская hg Pg ₃₋₂	70	32,3-41,7	9,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Люлинворская llPg ₂	50	41,7-54,8	13,1	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Талицкая tl Pg ₁	20	54,8-61,7	6,9	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская gnP ₁ -K ₂	106	61,7-73,2	11,5	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Славгородская sl K ₂	62	73,2-86,5	13,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Ипатовская ip K ₂	162	86,5-89,8	3,3	2,18	1,4	7e-007	1,25e-006
Кузнецовская kz K ₂	33	89,8-91,6	1,8	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Покурская pk K ₁₋₂	846	91,6-114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская a ₂ K ₁	-	114,1-116,3	2,2	-	-	-	-
Алымская a ₁ K ₁	-	116,3-120,2	3,9	-	-	-	-
Киялинская kls K ₁	673	120,2-132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская tr K ₁	51	132,4-136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская klmK ₁	185	136,1-145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская bg J ₃	58	145,8-151,2	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская gr J ₃	15	151,2-156,6	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Васюганская vs J ₃	59	156,6-162,9	6,3	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская tm J ₁₋₂	202	162,9-208,0	45,1	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Те же, что к табл. 5.20

Сопоставление расчетных и измеренных геотемператур в скважине Верх-Тарская 7 приведено в табл. 5.22. Так как измеренные температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка $\pm 2^\circ\text{C}$, то варианты 3 и 4 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную в 4 раза, а разница с ОСВ («максимальным палеотермометром») достигает 12°C .

Из анализа расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 5.23) следует, что в вариантах 1, 3 и 4 тепловой поток увеличивается на 1,5–2,6–6,5 мВт/м² (на 3–5–13 %) по отношению к расчетному значению теплового потока варианта 2 –

49.3 мВт/м². Неучет палеоклимата (*вариант 3*) приводит к увеличению расчетного значения. плотности теплового потока. Это объясняется фактическим отсутствием в этом варианте соляного источника тепла (4.2) в модели палеотемпературных реконструкций (4.1)-(4.3). В этом случае минимизация функционала (4.4) «потребовала» большего значения плотности теплового потока из основания q .

Таблица 5.22 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Верх-Тарская 7 (Новосибирская область)

Глубина , м	Измеренные («наблюденные») температуры, °С	Способ измерения	Вариант 1, °С		Вариант 2, °С		Вариант 3, °С		Вариант 4, °С	
			Расче тные темпе ратур ы	Разни ца	Расче тные темпе ратур ы	Разни ца	Расче тные темпе ратур ы	Разни ца	Расче тные темпе ратур ы	Разни ца
2488	80	Пластовые	82	+2	83	+3	89	+9	78	-2
2485	85	Пластовые	82	-3	83	-2	89	+4	78	-7
2485	86	Пластовые	82	-4	83	-3	89	+3	78	-8
2735	106	По ОСВ	110	+4	108	+2	89	-17	118	+12
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±3		±2		±8		±7	

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 5.23) в разрезе скважины свидетельствует о том, что в *варианте 3* материнская свита «пережила» самую короткую и самую «холодную» главную фазу нефтеобразования.

В *вариантах 1,2 и 4* (с учетом палеоклимата) баженовская свита имеет разные термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также разное время проявления относительных максимумов геотемператур в геологическом прошлом. Эта разница в термической истории ГФН имеет существенное значение с точки зрения сингенетичности созревания РОВ материнских отложений, генерации УВ и формирования структурных планов площадей нефтесбора, локальных ловушек [14].

Интересно отметить (табл. 5.23) кажущуюся синхронность изменения палеоклимата (векового хода температуры на земной поверхности) и геотемператур материнской свиты. Однако эта синхронность наблюдается при шаге дискретизации геологического времени в млн. лет. При шаге дискретизации в десятки тыс. лет проявляется инерционность геотемператур баженовских отложений к изменению палеоклимата.

Таблица 5.23 Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Верх-Тарская 7 (Новосибирская область)

Время, млн. лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли [42], °C	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °C			
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	2441	81	82	88	77
0,001	+1	2440	81	82	88	77
0,003	+2	2440	81	82	88	77
0,005	+3	2440	81	82	88	77
0,018	+1	2440	81	82	88	77
0,03	-2	2440	81	82	88	77
0,05	-1	2440	81	82	88	77
0,052	-1	2440	81	82	88	77
0,055	-1	2440	81	82	88	77
0,0565	-2	2440	81	82	88	77
0,07	-4	2440	81	82	88	77
0,09	-1	2440	81	82	88	77
0,11	-4	2440	81	82	88	77
0,13	-1	2440	81	82	88	77
0,15	-4	2440	81	82	88	77
0,19	-9	2440	81	82	88	77
0,21	-6	2440	81	82	88	77
0,222	-7	2438	81	82	88	77
0,225	-8	2438	81	82	88	77
0,235	-10	2438	81	82	88	77
0,2355	-9	2438	81	82	88	77
0,2385	-2	2438	81	82	88	77
0,24	0	2438	81	82	88	77
1,4	+1	2422	86	83	87	93
1,64	+1	2420	86	84	87	93
3,1	+2	2420	88	85	87	95
3,2	+2	2420	88	85	87	95
3,8	+12	2420	94	91	87	101
4,7	+3	2420	89	86	87	96
5,2	-3	2419	89	86	87	96
5,7	+7	2419	89	86	87	96
6,3	+10	2419	94	91	87	102
7	+4	2419	89	87	87	97
20	+15	2419	100	97	87	108
24	+16	2419	101	98	87	109
31,5	+17	2309	98	95	82	105
32,3	+16	2293	96	93	82	103
34	+15	2276	94	92	81	101
37,6	+14	2254	93	90	80	100
41,7	+12	2224	90	87	79	96
42	+11	2217	88	86	79	95
46	+8	2202	85	82	78	91
54,8	+19	2172	93	91	76	100
58	+24	2159	98	96	76	105
61,7	+22	2151	96	94	76	103
73	+15	2044	86	83	72	92
73,2	+16	2044	86	83	72	92
86,5	+22	1983	89	88	69	96
89,8	+22	1858	85	83	64	91
90	+23	1815	84	82	62	90
91,6	+22	1797	83	81	62	89
114,1	+21	943	51	50	31	54
118	+19	938	49	48	31	52
120,2	+19	938	48	48	31	52
132,4	+19	287	28	28	9	29
136,1	+19	215	25	25	7	26
145,8	+19	44	20	20	1	20
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²			50,8	49,3	51,9	55,8

Примечание. Вариант 1 – учет векового хода температур [42], учет вечной мерзлоты 300 м. Вариант 2 – учет векового хода температур, без учета вечной мерзлоты. Вариант 3 – без учета векового хода температур, без учета

вечной мерзлоты. *Вариант 4* – учет векового хода температур, учет вечной мерзлоты 1000 м. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Расчет интегрального показателя R для баженовских нефтей (табл. 5.24) дает максимальное значение для *приемлемого варианта 1* (84 усл. ед.). В этом варианте, помимо учета векового хода температур на дневной поверхности, учтено присутствие неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300 м. Указанное максимальное значение более, чем на 30% больше, чем в *варианте 2* (64 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур, и в 4 раза больше *варианта 3* (21 усл. ед.), в котором не учтен ни один фактор палеоклимата. Максимальное значение плотности генерированных ресурсов следует из более «богатой» термической истории баженовской свиты в *варианте 1* (табл. 5.23).

Таблица 5.24 Оценка плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей (*R*) для вариантов учета палеоклимата (скважина Верх-Тарская 7, Новосибирская область)

Вариант палеотемпературного моделирования	Расчетные ресурсы (<i>R</i>), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов (<i>n</i>)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °С
Вариант 1	84	26	89,8–1,4	88,2	101
Вариант 2	64	20	86,5–73,2; 61,7–54,8; 42–3,1	59,1	98
Вариант 3	21	35	24–0	24,0	88
Вариант 4	89	26	91,6–3,1	90,0	109

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые и равноценные по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, *вариант 1*, вполне корректный по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую подсчетную плотность генерированных *баженовских* нефтей.

Наличие в результатах *варианта 1* палеоочагов интенсивной генерации баженовской нефти (табл. 5.23) хорошо объясняет вскрытую скважиной Верх-Тарская 7 промышленную залежь в пласте Ю₁ (табл. 5.1).

Выводы:

1. На Верх-Тарском месторождении установлено, что не учет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю баженовских материнских отложений.

2. *Вариант 1* на Верх-Тарском месторождении Томской области наиболее полно учитывает два основных фактора палеоклимата (вековой ход на земной поверхности и

неоплейстоценовую мерзлоту мощностью 300 метров). Именно *вариант 1* и представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений, что и обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей на землях юго-востока Западной Сибири.

3. Таким образом, есть основания полагать, что при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом на землях Новосибирской области, в случае неучета палеоклиматических факторов расчетные ресурсы УВ могут быть существенно занижены (по экспресс-расчету – до 30-40 % и много более, до 4 раз).

4. Результаты исследований в пределах нефтепромыслов Новосибирской области являются подтверждением выполненных оценок существенного влияния палеоклимата на генерационный потенциал баженовской свиты нефтепромыслов Томской области.

5.5 Сопоставление и обсуждение результатов

Сопоставляя различные варианты палеотемпературного моделирования, выполненные для разрезов глубоких скважин на месторождениях Томской и Новосибирской областей, можно высказать следующие суждения.

1. В случаях не учета векового хода температур на дневной поверхности (*вариант 1*, Лугинецкое месторождение, табл. 5.3; *вариант 3*, Северо-Фестивальное месторождение, табл. 5.15) расчетный тепловой поток q увеличен. Это объясняется фактическим отсутствием солярного источника тепла (4.2) в модели палеотемпературных реконструкций. Здесь минимизация функционала (4.4) при решении обратной задачи геотермии – минимизация «невязки» расчетных U и наблюдаемых T геотемператур – «потребовала» большего значения плотности теплового потока из основания q . Это не приводит к повышению расчетных геотемператур материнских отложений. Просто происходит компенсация энергетического дефицита, созданного отсутствием солярного источника тепла.

2. В *вариантах 3 и 9 (Лугинецкое)* и *вариантах 1 и 4 (Северо-Фестивальное)*, на обоих месторождениях получено увеличение расчетной плотности теплового потока q . В этих *вариантах* учтен фактор палеоклимата – неоплейстоценовая мерзлота. Увеличение q обусловлено рассеиванием тепла через дневную поверхность за счет высокой теплопроводности λ и температуропроводности a мерзлой толщи, присутствующей в модели палеотектонических и палеотемпературных реконструкций. Учет палеоклимата на месторождениях Томской области обуславливает увеличение расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений на 13–11–22 °С. Конечно, последнее значение

(22 °C), соответствующее вечной мерзлоте мощностью 1000 м, маловероятны для *юго-востока* Западной Сибири.

3. Аналогичное влияние факторов палеоклимата на расчетное значение плотности теплового потока q имеет место и на Верх-Тарском месторождении Новосибирской области [51].

4. На Верх-Тарском месторождении в *вариантах 1 и 4* тепловой поток увеличивается на 1,5–6,5 мВт/м² (на 3–13 %) по отношению к расчетному значению теплового потока *варианта 2* – 49.3 мВт/м², в котором неоплейстоценовая мерзлота не учтена. Расчет кумулятивного показателя R дал максимальное значение для *варианта 1* (84 усл. ед.). В этом варианте, помимо учета векового хода температур на дневной поверхности, учтено присутствие неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300 м. Указанное максимальное значение более чем на 30% больше, чем в *варианте 2* (64 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур. И более чем в 4 раза превышает значение R *варианта 3* (21 усл. ед.), в котором не учитывается ни один фактор палеоклимата. В целом, учет палеоклимата обуславливает увеличение расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских баженовских отложений на 14–22 °C.

5. Как следует из сказанного выше, не учет или не полный учет факторов палеоклимата не позволяет построить достаточно строгую физико-математическую модель геотермического режима нефтематеринской свиты, вскрытой глубокими скважинами в юго-восточной части Западной Сибири. Варианты палеотемпературного моделирования, как на Лугинецком и Северо-Фестивальном месторождениях Томской области, так и на Верх-Тарском месторождении Новосибирской области, наиболее полно учитывающие два основных фактора палеоклимата (вековой ход на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту) представляют наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей на землях юго-востока Западной Сибири.

6. Влияние мезозойско-кайнозойского хода температур на земной поверхности, обусловленного во многом соляным источником тепла, на геотермический режим материнских отложений является *очевидным, фактическим, действующим с момента осадконакопления материнской свиты* (табл. 5.3, 5.15, 5.17).

7. Может казаться парадоксальным влияния неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим материнских отложений: ведь абсолютный палеотемпературный максимум ГФН приходится на рубеж олигоцена и миоцена (24 млн. лет назад), а вечномерзлые породы формировались только в неоплейстоцене (0,24 млн. лет назад). Объяснение этому кажущемуся парадоксу следующее.

Палеотемпературы (реконструкции термической истории) материнской свиты *рассчитываются* по значению плотности теплового потока из основания осадочного разреза – q . Значение q , в свою очередь, *рассчитано* решением классической обратной задачи геофизики в рамках параметрической модели седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи. Примеры параметрической модели – это таблицы 5.2, 5.11, 5.19 (*варианты* без учета вечной мерзлоты) и таблицы 5.12, 5.13, 5.20, 5.21 (*варианты* с учетом неоплейстоценовой мерзлоты). Если мы признаем факт существования неоплейстоценовой мерзлоты, то для реконструкций (*расчетов*) термической истории материнских отложений неизбежно применяем параметрическую модель седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи, включающую вечную мерзлоту (табл. 5.12, 5.13, 5.20, 5.21). Если мы не признаем факт существования неоплейстоценовой мерзлоты, то для *расчетов* применяем параметрическую модель седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи, без вечной мерзлоты (табл. 5.2, 5.11, 5.19). И, как следствие, в зависимости от признания/не признания факта существования неоплейстоценовой мерзлоты, получаем разные *расчетные* геотемпературы ГФН материнской свиты. Таким образом, влияние неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим материнских отложений является *косвенным, расчетным*, но неизбежным при расчете ресурсов объемно-генетическим методом.

8. Обратим внимание на то, что оценка плотности ресурсов углеводородов, выполняемая по методике бассейнового моделирования [26], является *расчетной*, основанной на реконструкциях (*расчетах*) геотемпературного режима нефтематеринских отложений. Поэтому в системах бассейнового моделирования, например Temis, представляется актуальным осуществлять учет регионального («местного») мезозойско-кайнозойского хода температур на земной поверхности и учет влияния неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим материнских отложений.

Примененный нами экспресс-расчет плотности генерированных ресурсов нефти (через интегральный показатель R , усл. ед.) не является конкурирующим для расчетов [26, 27, 107] прироста генерационных потерь РОВ (кг/м^3) или объемной плотности генерации УВ (кг/м^2). Экспресс-расчет R – это рабочий инструмент для оценок вариантов моделирования геотермического режима нефтематеринских отложений в разрезе скважины (сопоставление по относительному значению параметра) или для анализа результатов однотипного моделирования семейства скважин (районирование территории по параметру в относительном выражении).

5.6 Выводы [34, 41, 42, 49, 50, 51, 115, 117-132]

Построение мезозойско-кайнозойского хода температур на земной поверхности и векового хода мощностей неоплейстоценовых вечномёрзлых пород южно-сибирской палеоклиматической зоны и оценка влияния этих палеоклиматических факторов на реконструкции геотермического режима нефтематеринских свит Лугинецкого, Северо-Фестивального и Верх-Тарского месторождений позволяет сделать следующие выводы:

1. Определены два основных палеоклиматических фактора, вероятно существенно влияющих на реконструируемый геотермический режим осадочного разреза (включая нефтематеринские отложения) *юго-востока Западной Сибири*: 1-й фактор – вековой ход температур на поверхности Земли; 2-й фактор – формирование и деградация неоплейстоценовой толщи вечномёрзлых пород.

2. На представительных примерах мезозойско-кайнозойского разреза месторождений Томской и Новосибирской областей установлено, что учет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений на землях *юго-востока Западной Сибири*.

3. Варианты палеотемпературного моделирования, как на Лугинецком и Северо-Фестивальном месторождениях Томской области, так и на Верх-Тарском месторождении Новосибирской области, наиболее полно учитывающие два основных фактора палеоклимата, представляют наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений. В этом случае геологическое время нахождения материнских свит в ГЗН увеличивается до 2-х раз, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 11–14°C. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

4. При определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом на землях *юго-востока Западной Сибири* предпочтительно применять «местный» вековой ход температур и толщ мерзлоты мощностью порядка 300 метров. В случае не учета толщ вечной мерзлоты расчетные ресурсы УВ могут быть занижены (по экспресс-расчету - до 25-30 %), а в случае не учета еще и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены еще значительней (по экспресс-расчету - от 50 % до 4 раз).

Приведенные выше выводы обосновывают 1-е защищаемое положение:

«Построенный «местный» мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на земной поверхности и принятая 300-метровая толща неоплейстоценовых вечномёрзлых пород южно-сибирской палеоклиматической зоны позволяют адекватно восстановить

термическую историю тогурских и баженовских нефтематеринских отложений месторождений юго-востока Западной Сибири. При учете зональных палеоклиматических факторов время нахождения материнских свит в главной зоне нефтеобразования увеличивается до 2-х раз, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 11–14 °С, в случае неучета – ресурсы углеводородов, рассчитанные объемно-генетическим методом, могут быть существенно занижены»

6 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕФТЕМАТЕРИНСКОЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (П-ОВ ЯМАЛ)

6.1. Характеристика объектов исследований

Моделирование палеогеотемпературных условий нефтематеринских баженовских отложений выполнено для осадочных разрезов 3-х глубоких скважин (рис. 6.1): Арктическая 11, Средне-Ямальская 14 и Ростовцевская 64. Исследуемые скважины расположены в пределах Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Географически регион тяготеет к южной части полуострова Ямал и относится к районам Крайнего Севера за Полярным кругом (рис. 6.1).

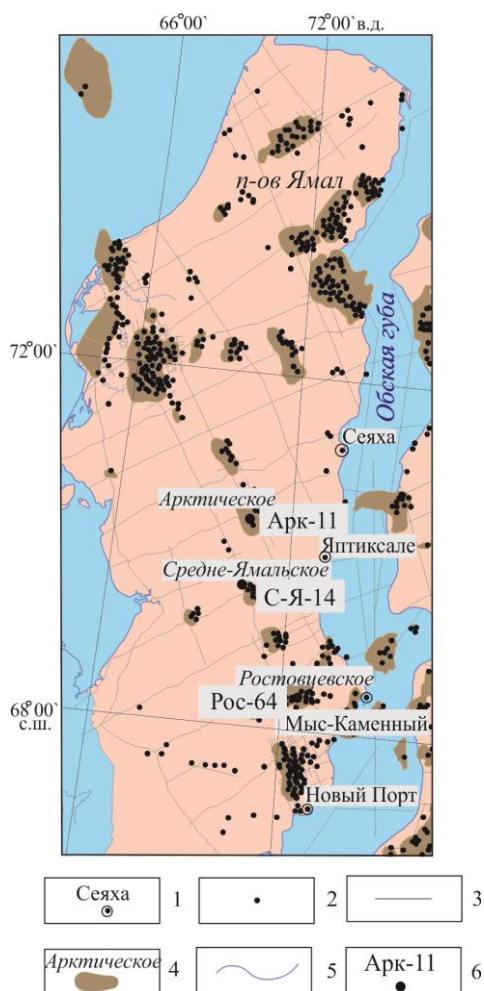


Рис. 6.1 Обзорная схема территории исследований: 1 – населенный пункт и его название; 2 – поисково-разведочная скважина; 3 – сейсмический профиль работ МОГТ 2D; 4 – контур месторождения и его название (объекты экспериментальных исследований); 5 – гидрография и береговая линия; 6 – моделируемая скважина и ее индекс: Арк-11 – Арктическая 11, С-Я-14 – Средне-Ямальская 14, Рос-64 – Ростовцевская 64.

Полуостров пересекает равномерная сеть сейсмических профилей площадных работ МОГТ 2D средней плотности. В пределах открытых месторождений сеть заметно сгущена. На полуострове Ямал и примыкающих акваториях Карского моря и Обской губы открыто более 30 месторождений углеводородов с залежами в меловом, юрском и палеозойском нефтегазоносных комплексах.

Формирование осадочного плитного чехла молодой эпигерцинской Западно-Сибирской плиты на Ямале напрямую связано с *тектоникой фундамента*. За счет термического угасания *раннетриасового* рифтогенеза происходит погружение территории и формирование депрессионных зон и инверсионных антиклинорий. На тектонической карте фундамента [133] Арктическая и Средне-Ямальская площади расположены в пределах Нурминского инверсионного антиклинория, Ростовцевская – в зоне сочленения Нурминского антиклинория и Нейтингского прогиба. В структурах осадочного чехла исследуемые площади расположены в пределах Нурминского вала [134].

Осадочный мезозойско-кайнозойский чехол территории исследования начинает формироваться в ранней юре. Накопление отложений нижней-средней юры происходит во времена относительно повышенной тектонической активности за счет экспансивного заполнения территории осадками из местных источников. Гумидный климат позднего триаса-ранней юры активизирует процессы эрозии и денудации складчато-вулканического горного рельефа. Осадконакопление происходит без видимых перерывов с чередующейся сменой континентальных и морских условий в зависимости от эвстатических колебаний и режима тектонических движений. Во времена бореальных трансгрессий в ранней юре формируется глинистая толща китербютская (тогурская) - J_1kt , обладающая нефтематеринским потенциалом [135]. К концу волжского века трансгрессия моря расширилась, идет накопление баженовской свиты (J_3+K_1bg), обогащенной органическим веществом.

Начиная с апт-сеномана, морской режим господствует до начала эоцена. Раскрытие котловины Арктического бассейна приводит к смене знака вертикальных тектонических движений и наступает позднеэоценовая регрессия. Анализ мощностей палеоген-неогена [136] показывает, что кровля люлинвора (ирбита) могла быть подвергнута денудации. При этом размытый слой мог составить порядка 500-700 м.

Дискуссия о перерывах в осадконакоплении, эрозиях на рубеже позднего палеогена и эоцена в арктической зоне Западной Сибири продолжается по сей день [57, 108, 137]. Наличие перерывов в осадконакоплении и размывов установлены однозначно, однако их объем и временные привязки однозначно не определены.

Анализ предварительно выполненных нами палеотектонических и палеотемпературных реконструкций свидетельствует о том, что накопление шло до середины миоцена на протяжении 31,9 млн. лет (нюрольская, тавдинская, атлымская, новомихайловская, туртасская, абросимовская свиты) в объеме 335-535 м и за 4 млн. лет, в раннебищеульское время, эти отложения были размыты.

Ингрессиям бореального моря в среднем миоцене - раннем плиоцене, с конца бищеульского времени и до конца новопортовского, обязаны накопления осадков толщиной 113 м, которые, в последующий этап положительных тектонических движений, за 1,3 млн. лет, денудируются. С началом позднего миоцена идет накопление плиоцен-четвертичных озерно-аллювиальных осадков.

В случае учета эрозионных процессов, при палеотемпературном моделировании по критерию «невязки» измеренных (наблюденных) и расчетных геотемператур результаты являются оптимальными: «невязки» составляют порядка $\pm 2^{\circ}\text{C}$, размыты палеоген-неогеновых отложений (335-535 м) и неогеновых отложений (113 м) подтверждаются. А результаты моделирования без учета эрозионных процессов – однозначно неприемлемы, «невязки» для скважин Арк-11, С-Я-14 и Р-64 составляют, соответственно $\pm(5-12-16)^{\circ}\text{C}$.

Посвитная разбивка от подошвы осадочного чехла до верхнего мела, включая березовскую свиту, нами взята по данным ИНГГ СО РАН (2015 г). Расчленение нижне-среднепалеогеновых свит от ганькинской до ирбитской, заимствовано из материалов ВСЕГЕИ [138]. Вышележащие толщи расчленены на основе работ [40] и [136].

Нефтематеринская баженовская свита является основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового нефтегазоносных комплексов (НГК), а также приоритетной сланцевой формацией [139]. Однако, в отличие от юго-западных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [93, 140], баженовские отложения в арктической зоне существенно варьируют как по концентрациям рассеянного органического вещества (РОВ), нередко уменьшаясь до 1-2 %, так и по типу РОВ, переходя к гумусово-сапропелевому типу. По отражательной способности витринита (ОСВ) - $R_{\text{vt}}^0 = 0,96\%$ - в пределах Арктической площади баженовская свита находится в конце главной зоны нефтеобразования (ГЗН).

В континентальных условиях аккумуляционной равнины с отложением песчано-алевролитовых разностей, согласно [141], в *нижнеюрском НГК* обособляются зимняя (J_1p_1), шараповская ($J_1p_2^2$) и надояхская ($J_1t_1^2-t_2$) свиты. Во времена бореальных трансгрессий, формирующиеся глинистые толщи, соответственно, левинская ($J_1p_2^1$) и китербютская ($J_1t_1^1$), образуют покрышки в этих резервуарах. Для надояхского резервуара покрышкой служат среднеюрские лайдинские (J_2,a) аргиллиты. Несмотря на достаточно глубокое залегание, при

особых условиях, по мнению [135], нижеюрская китербютская свита обладает высоким нефтематеринским потенциалом.

Среднеюрский НГК включает резервуары в составе вымской свиты ($J_2b_1^1$) с песчаными пластами ЮЯ₇₋₉, и леонтьевской глинистой покрывкой ($J_2b_1^2-b_2^1$) и малышевской свиты ($J_2b_2^2-bt_{1-2}$) с пластами ЮЯ₂₋₄ в нижней подсвите. Верхняя глинистая часть свиты служит покрывкой в этом резервуаре.

Верхнеюрский НГК объединяет нурминские отложения ($J_2bt^3-k+J_3ok-tt_1$), представленные переслаиванием аргиллитоподобных глин, алевролитов, песчаных алевролитов. Баженовская свита присутствует в разрезах скважин, ее мощность составляет от 16 м в Арктической 11 до 35 м в Средне-Ямальской 14.

Меловой НГК объединяет нижнемеловые ахскую, таноппинскую, яронгскую свиты. Нефтегазоносность связана с нижнемеловой ахской свитой, в которой снизу вверх обособляются толщи с пластами-коллекторами в них. В подошве выделяется ачимовская толща с группой пластов Ач.

В табл. 6.1 приведены характеристики разрезов представительных глубоких скважин, в которых выполнено моделирование геотермического режима нефтематеринских баженовских отложений в пределах Арктического, Средне-Ямальского и Ростовцевского месторождений.

Для построения седиментационно-теплофизической модели для моделируемых скважин использованы стратиграфические разбивки, выполненные с учетом динамики тектонических событий на протяжении формирования осадочного разреза на территории южного Ямала. Параметр плотности ($г/см^3$) для каждой свиты принят в соответствии с литологическим наполнением каждого стратона. Теплопроводность осадочных пород ($Вт/м·град$) зависит в первую очередь от плотности и, в отсутствии прямых определений, используется расчетная, способом, приведенным в работе [98]. Выбор коэффициентов температуропроводности ($м^2/с$) также определяется породным составом толщ, исходя из типовых моделей [142]. Удельная теплогенерация ($Вт/м^3$) выбирается в соответствии с данными из работы [143].

Вывод [35, 144]: систематизация и анализ геолого-геофизических и геохимических данных по объекту исследований – северной части Западной Сибири (п-ов Ямал) – создали параметрическую базу для палеотемпературного моделирования нефтематеринских баженовских отложений северо-сибирской палеоклиматической зоны.

Таблица 6.1 Характеристика разрезов скважин Арктического, Средне-Ямального и Ростовцевского месторождений

Характеристики	Значение		
	Скважина Арктическая 11	Скважина Средне-Ямальная 14	Скважина Ростовцевская 64
Забой, м	3624	3383	3485
Отложения на забое (свита)	Левинская (J ₁ lv)	Надояхская (J ₁ +J ₂ nd)	Леонтьевская (J ₂ ln)
Кровля баженовской свиты (J ₃ +K ₁ bg), м	2792	2855	3162
Мощность баженовской свиты, м	16	35	33
Мощность палеогеновых отложений в современном разрезе, м	223	350	400
Мощность неоген-четвертичных отложений в современном разрезе, м	280	200	266
Размыв палеоген-неогеновых отложений (14,5 - 18,5 млн. лет назад), м	535	435	335
Размыв неогеновых отложений (4,1-5,4 млн. лет назад), м	113	113	113
Мощность вечномёрзлых пород в плиоцен-квартере (0,52-0,18 млн. лет назад), м	600	600	600
Мощность вечномёрзлых пород в плиоцен-квартере (0,18-0,0 млн. лет назад), м	300	300	300
Результаты испытаний верхнеюрских-нижнемеловых пластов (свита; пласт; тип флюида; дебит, м ³ /сут)	Не испытывались	Не испытывались	Ахская; БЯ ₉₋₁₀ ; газ, 210 тыс.; конденсат, 35,2; вода, 1.5 Ахская ; БЯ ₉₋₁₀ ; вода, 3.9 Ахская ; НП ₂₋₃ ; газ, 6.4 тыс. Ахская ; НП ₅₋₆ ; газ, 11.5 тыс.; нефть, 6.5 Ахская ; НП ₅₋₇ ; нефть, 4.2 Ахская; Ач-1; сухо Баженовская; сухо
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера, м; температура, °С)	Левинская; 3533; 125 Левинская; 3560; 126	Марресалинская; 846; 17	Ахская; 2470; 75 Ахская; 2650; 81 Ахская; 2660; 81
«Измеренные» температуры по ОСВ (глубина отбора, м; (R ⁰ _{vt}); температура, °С)	2000; (0,65); 100 2500; (0,80); 120	1700; (0,52); 83 2200; (0,65); 100 3000; (0,80); 120	2096 м; (0,53); 84 2600; (0,63); 98 2827; (0,73); 111

Примечание. Данные испытаний глубоких скважин изучены и сведены из «Каталога литолого-стратиграфических разбивок» (материалы Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск). ОСВ определены в Лаборатории геохимии нефти и газа Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск).

6.2 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Арктического месторождения

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной Арктическая 11 (рис. 6.1, табл. 6.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии с литолого-стратиграфической разбивкой скважины по «Каталогу литолого-стратиграфических разбивок скважин» (табл. 6.2).

Наличие перерывов в осадконакоплении и величины денудации подтверждены и оценены путем многовариантных палеотемпературных расчетов при различных сценариях тектоно-седиментационной истории и последующего выбора сценария, отвечающего критерию «невязки».

Таблица 6.2 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Арктическая 11 (без учета неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+плиоцен Q- P ₂	280	0-4.1	4.1	2.04	1,29	6.5e-007	1,1e-006
N ₁₋₂	-113	4.1-5.4	1.3				
Новопортовская N ₁₋₂	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N ₁	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская bsch N ₁	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N ₁	-535	14.5-18.5	4				
Абросимовская N ₁	25	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская tur P ₃	90	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская nvm P ₃	70	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская atl P ₃	100	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская tv P ₂	150	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская nl P ₂	100	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P ₂ ir	20	50.4-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P ₁ sr	43	55.0-58.0	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P ₁ tb	120	58.0-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K ₂ +P ₁ gn	40	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K ₂ b	136	73.0-89.0	16	2.15	1.41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K ₂ kz	31	89.0-92.0	3	2.18	1.43	8e-007	1.25e-006
Марресалинская K ₂ -K ₁ mr	550	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K ₁ jar	690	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K ₁ tn	353	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K ₁ ah	529	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J ₃ +K ₂ bg	16	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J ₂ nr	65	149.3-161.7	12.4	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Мальшевская J ₂ ml	95	161.7-171.0	9.3	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J ₂ ln	130	171.0-173.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Вымская J ₂ vm	127	173.0-175.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Лайдинская J ₂ ld	75	175.0-177.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Надояхская J ₁ +J ₂ nd	95	177.0-182.5	5.5	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Китербютская (тогурская) J ₁ kt	39	182.5-184.0	1.5	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Шараповская J ₁ shr	50	184.0-186.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Левинская J ₁ lv	140	186.0-186.70	0.7	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3624						

Примечание. Литолого-стратиграфические разбивки изучены и сведены из «Каталога литолого-стратиграфических разбивок» (материалы Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск). Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских китербютской (тогурской) и баженовской свит и их параметрическое описание. Серой – размыты палеоген-неогеновые отложения.

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – без учета факторов палеоклимата. *Вариант 2*

– учет «стандартного» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 3* – учет «арктического» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 4* – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты.

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород [35] учитываются как своеобразный динамичный литолого-стратиграфический комплекс, обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 0,52 млн. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 0,3+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений 600-метровой толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [97]. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 334 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (0,3+0,15+0,15 тыс. лет) толща мерзлых пород деградирует в объеме 300 м. И, далее вечномерзлые породы существуют в объеме 300 м до настоящего времени, в последние 182 тыс. лет (табл. 6.3).

Решение прямых задач геотермии выполняется на 54 ключевых моментах геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты, перекрывающих материнскую баженовскую, а также точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности и «переломным» моментам формирования и деградации неоплейстоценовой мерзлоты.

Принятая балансовая модель процессов нефтегазообразования позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей из РОВ гумусово-сапропелевого типа баженовских отложений: пороговая геотемпература вхождения в главную зону нефтеобразования (ГЗН) $U \geq 95$ °С.

Основным критерием адекватности и предпочтительности результатов палеотемпературного моделирования выступает оптимальная согласованность («невязка») максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная «невязка» расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. Оптимальная «невязка», принятая в классической разведочной геофизике, это средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений, равная погрешности наблюдений [145]. Эта погрешность порядка ± 2 °С.

Таблица 6.3 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Арктическая 11 (учет неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	-	0.1820-0.00	0.1820	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	300	0.18215-0.1820	0.00015	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+плиоце $Q-P_2$	300	0.1823-0.18215	0.00015	2.10	1,3	7e-007	1.22e-006
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	-600	0.1826-0.1823	0.0003	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	-	0.5167-0.1826	0.3341	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	600	0.5197-0.5167	0.003	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	-600	0.520-0.5197	0.0003	-	-	-	-
Квартер+плиоцен $Q-P_2$	280	4.1-0.520	3.58	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N_{1-2}	-113	4.1-5.4	1.3				
Новопортовская N_{1-2}	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N_1	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская $bsch N_1$	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N_1	-535	14.5-18.5	4				
Абросимовская N_1	25	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская $tur P_3$	90	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская $nvm P_3$	70	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская $atl P_3$	100	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская $tv P_2$	150	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская $nl P_2$	100	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P_{2ir}	20	50.4-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P_{1sr}	43	55.0-58.0	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P_{1tb}	120	58.0-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K_2+P_{1gn}	40	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K_2b	136	73.0-89.0	16	2.15	1,41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K_2kz	31	89.0-92.0	3	2.18	1,43	8e-007	1.25e-006
Марресалинская K_2-K_{1mr}	550	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K_{jar}	690	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K_{1tn}	353	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K_{ah}	529	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J_3+K_2bg	16	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J_2nr	65	149.3-161.7	12.4	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Малышевская J_2ml	95	161.7-171.0	9.3	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J_2ln	130	171.0-173.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Вымская J_2vm	127	173.0-175.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Лайдинская J_2ld	75	175.0-177.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Надояхская J_1+J_2nd	95	177.0-182.5	5.5	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Китербютская (тогурская) J_{1kt}	39	182.5-184.0	1.5	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Шараповская J_{1shr}	50	184.0-186.0	2	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Левинская J_{1lv}	140	186.0-186.7	0.7	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3624						

Примечание. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринских китербютской (тогурской) и баженовской свит и их параметрическое описание. Синей заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-синей заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Серой - размывы палеоген-неогеновых отложений.

В качестве второго основного критерия адекватности и предпочтительности результатов принята степень согласованности очагов интенсивной генерации УВ, выделяемых по геотемпературному критерию в материнской свите, с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Важным критерием достоверности результатов палеотемпературного моделирования является согласованность расчетных значений плотности теплового потока q с данными экспериментального определения плотности теплового потока на территории исследований.

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине Арктическая 11 приведено в табл. 6.4. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка ± 2 °С, то варианты 1 и 2 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную в 2 раза и много больше, а в варианте 1 разница с ОСВ достигает 9–11 °С. В случае учета палеоклимата (варианты 3 и 4), как «невязки» для пластовых температур, так и сходимость с «максимальным палеотермометром» оптимальны и примерно равноценны.

Таблица 6.4 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Арктическая 11

Глубина, м	Измерен ные температ уры, °С	Способ измерения	Вариант							
			1		2		3		4	
			Значение	Разница	Значение	Разница	Значение	Разница	Значение	Разница
2000	100	ОСВ	91	–9	97	–3	99	–1	102	+2
2500	120	ОСВ	109	–11	115	–5	117	–3	121	+1
3533	125	пластовые	133	+8	128	+3	126	+1	124	–1
3560	126	пластовые	133	+7	129	+3	127	+1	124	–1
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±9		±4		±2		±1	

Примечание. Коричневой заливкой показаны варианты оптимальные (приемлемые) по критерию «невязки».

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 6.5) показывает следующее. В вариантах 1, 3 и 4 тепловой поток увеличивается на 1,6–2,3–4,3 мВт/м² по отношению к расчетному значению теплового потока варианта 2 – 54,1 мВт/м².

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 6.5) в разрезе скважины Арктическая 11 свидетельствует о том, что в варианте 1 (без учета палеоклимата, т. е. без учета векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты) материнская свита «пережила» самую короткую и самую «холодную» главную фазу нефтеобразования (ГФН).

В вариантах 2, 3 и 4 (с учетом факторов палеоклимата) баженовская свита имеет «богатые» термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют

разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также содержат относительные максимумы геотемператур в геологическом прошлом.

Таблица 6.5 Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Арктическая 11

Время, млн. лет назад	«Стандартный» вековой ход [18], °C	«Арктический» вековой ход [35], °C	Мощность мерзлых пород [144], м	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °C			
					Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	-4	300	2800	107	104	101	98
0,015	-2	-10	300	2798	107	103	101	97
0,02	-3	-8	300	2798	107	103	101	97
0,030	-4	-5	300	2798	107	102	100	97
0,04	-2	-6	300	2798	107	102	100	97
0,050	-1	-7	300	2797	107	103	100	96
0,070	-4	-4	300	2795	107	103	100	96
0,110	-4	-5	300	2792	107	103	100	95
0,120	-2	-6	300	2791	107	103	100	95
0,130	-1	-7	300	2791	107	103	99	94
0,150	-4	-6	300	2790	107	104	99	94
0,177	-6	-7	300	2788	107	104	99	94
0,1820	-6	-7	300	2788	107	104	99	94
0,18215	-6	-7	-	2788	107	103	98	105
0,1823	-7	-7	-	2788	107	103	98	116
0,1826	-7	-7	600	2788	107	103	98	116
0,200	-7	-8	600	2786	106	104	98	94
0,240	-10	-9	600	2784	106	105	98	94
0,5167	-6	-10	600	2765	106	105	96	100
0,5197	-5	-11	-	2765	106	105	96	115
0,520	-5	-11	-	2764	106	105	96	100
1,8	-3	-13	-	2677	102	102	93	96
3,2	-2	+5	-	2581	97	98	103	107
4,1	+3	+4	-	2520	96	97	102	105
4,9	+5	+4	-	2590	98	100	104	107
5,4	+5	+4	-	2633	100	102	105	109
8,4	+9	+5	-	2583	98	101	104	108
10	+9	+6	-	2573	97	102	105	108
12,5	+10	+6	-	2558	96	102	104	107
14,5	+10	+6	-	2520	97	103	104	107
18,5	+11	+7	-	3055	119	125	128	132
23	+4	+8	-	3030	118	119	127	131
28	+8	+8	-	2940	114	118	123	127
30	+10	+9	-	2870	111	116	120	124
34	+11	+9	-	2770	106	115	116	120
35	+14	+9	-	2752	105	116	116	119
42,6	+20	+12	-	2620	100	117	113	116
50	+21	+15	-	2525	95	114	112	114
50,4	+21	+15	-	2520	95	114	111	114
55	+21	+15	-	2500	94	112	110	114
58	+20	+16	-	2457	92	110	109	112
63,7	+19	+16	-	2337	87	104	104	107
70	+19	+16	-	2310	86	103	103	106
73	+19	+15	-	2297	85	102	101	104
85	+19	+13	-	2195	81	98	95	97
89	+20	+13	-	2161	79	97	94	97
92	+20	+13	-	2130	78	96	93	95
100	+22	+15	-	1690	61	80	76	78
102	+22	+15	-	1580	56	76	72	74
108,5	+22	+15	-	890	31	52	47	48
120	+22	+16	-	726	26	46	42	43
134	+21	+15	-	492	17	38	32	33
135	+22	+15	-	437	15	36	30	31
142,5	+22	+15	-	19	1	23	16	16
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²					55,7	54,1	56,4	58,4

Примечание. Вариант 1 – без учета факторов палеоклимата. Вариант 2 – учет «стандартного» векового хода температур [18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 3 – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 4 – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты [144]. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

В варианте 4 присутствие толщи вечномерзлых пород, обладающих высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a , приводит к увеличению расчетных значений плотности теплового потока q , что, в свою очередь, увеличивает расчетные геотемпературы материнских отложений.

Расчет интегрального показателя R (табл. 6.6) – экспресс-расчет плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей – дает максимальное значение для приемлемого варианта 4 (102 усл. ед.). В этом приемлемом (по критерию «невязки») варианте, помимо учета «арктического» векового хода температур на дневной поверхности, учтена динамика неоплейстоценовой мерзлоты. Указанное максимальное значение значительно – на 48% – больше приемлемого (по критерию «невязки») варианта 3 (69 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход на поверхности Земли.

Таблица 6.6 Расчет интегрального показателя R , дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей (скважина Арктическая 11)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-расчет ресурсов (R), усл. ед	Период работы палеоочага млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C
Вариант 1	52	50,4–0	50,4	119
Вариант 2	97	92,0–0	92,0	125
Вариант 3	69	85,0–3,2; 0,52–0,0	82,0	128
Вариант 4	102	92,0–0,2; 0,12–0,0	91,9	132

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые и равноценные по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, именно вариант 4 оптимальный по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно (в контексте проведенных исследований) учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских баженовских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

Выводы:

1. На примере представительной скважины Арктического месторождения, расположенного в северной части территории исследований на п-ве Ямал, установлено, что неучет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских баженовских отложений.
2. Учет палеоклимата обуславливает заметное увеличение – на 13°C – расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений

3. *Вариант 4*, учитывающий факторы палеоклимата – «арктический» вековой ход температур на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту, оптимальный по сходимости («невязке») измеренных и расчетных геотемператур, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских баженовских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

4. Таким образом, при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом можно рекомендовать применение «арктического» векового хода температур [35] и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300-600 метров [144]. В случае не учета толщ вечной мерзлоты и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены до 50%.

6.3 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Средне-Ямальского месторождения

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной Средне-Ямальская 14 (рис. 6.1, табл. 6.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии со стратиграфической разбивкой скважины по «Каталогу литолого-стратиграфических разбивок скважин» (табл. 6.7).

Наличие перерывов в осадконакоплении и величины денудации подтверждены и оценены путем многовариантных расчетов при различных сценариях тектоно-седиментационной истории и последующего выбора сценария, отвечающего критерию «невязки».

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – без учета факторов палеоклимата. *Вариант 2* – учет «стандартного» векового хода температур [18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 3* – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 4* – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты [35].

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитываются как своеобразный литолого-стратиграфический комплекс, обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 0,52 млн. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 0,3+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных»

осадочных отложений 600-метровой толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [97].

Таблица 6.7 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Средне-Ямальская 14 (без учета неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+неоген Q- N ₂	200	0.0-4.1	4.1	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N ₁₋₂	-113	4.1-5.4	1.3	-	-	-	-
Новопортовская N ₁₋₂	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N ₁	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская bsch N ₁	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N ₁	-435	14.5-18.5	4	-	-	-	-
Абросимовская N ₁	15	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская tur P ₃	70	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская nvm P ₃	50	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская atl P ₃	80	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская tv P ₂	130	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская nl P ₂	90	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P ₂ ir	120	48.0-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P ₁ sr	60	55.0-61.7	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P ₁ tb	50	61.7-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K ₂ + P ₁ gn	120	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K ₂ b	249	73.0-89.0	16	2.15	1.41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K ₂ kz	44	89.0-92.0	3	2.18	1.43	8e-007	1.25e-006
Марресалинская K ₂ -K ₁ mr	485	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K ₁ jar	179	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K ₁ tn	701	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K ₁ ah	647	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J ₃ +K ₂ bg	35	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J ₂ nr	16	149.3-161.7	12.4	2.42	1.6	8e-007	1.3e-006
Малышевская J ₂ ml	91	161.7-171.0	9.3	2.44	1.64	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J ₂ ln	98	171.0-173.0	2	2.45	1.64	8e-007	1.3e-006
Вымская J ₂ vm	124	173.0-175.0	2	2.46	1.64	8e-007	1.3e-006
Лайдинская J ₂ ld	71	175.0-177.0	2	2.46	1.63	8e-007	1.3e-006
Надояхская J ₁ +J ₂ nd	93	177.0-182.5	3	2.46	1.64	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3383						

Примечание. Литолого-стратиграфические разбивки изучены и сведены из «Каталога литолого-стратиграфических разбивок» (материалы Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск). Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание. Серой - размывы палеоген-неогеновых отложений.

Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 334 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (0,3+0,15+0,15 тыс. лет) толща мерзлых пород деградирует в объеме 300 м. И, далее вечномерзлые породы существуют в объеме 300 м до настоящего времени, в последние 182 тыс. лет (табл. 6.8).

Таблица 6.8 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Средне-Ямальская 14 (учет неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+неоген Q- N ₂	-	0.1820-0.00	0.1820	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	300	0.18215-0.1820	0.00015	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	300	0.1823-0.18215	0.00015	2.10	1.3	7e-007	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	-600	0.1826-0.1823	0.0003	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	-	0.5167-0.1826	0.3341	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	600	0.5197-0.5167	0.003	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	-600	0.520-0.5197	0.0003	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	200	4.1-0.520	3.58	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N ₁₋₂	-113	4.1-5.4	1.3	-	-	-	-
Новопортовская N ₁₋₂	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N ₁	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская bsch N ₁	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N ₁	-435	14.5-18.5	4	-	-	-	-
Абросимовская N ₁	15	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская tur P ₃	70	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская nvm P ₃	50	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская atl P ₃	80	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская tv P ₂	130	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская nl P ₂	90	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P ₂ ir	120	48.0-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P ₂ sr	60	55.0-61.7	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P ₁ tb	50	61.7-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K ₂ + P ₁ gn	120	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K ₂ b	249	73.0-89.0	16	2.15	1.41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K ₂ kz	44	89.0-92.0	3	2.18	1.43	8e-007	1.25e-006
Марресалинская K ₂ -K ₁ mr	485	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K ₁ jar	179	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K ₁ tn	701	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K ₁ ah	647	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J ₃ +K ₂ bg	35	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J ₂ nr	16	149.3-161.7	12.4	2.42	1.6	8e-007	1.3e-006
Малышевская J ₂ ml	91	161.7-171.0	9.3	2.44	1.64	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J ₂ ln	98	171.0-173.0	2	2.45	1.64	8e-007	1.3e-006
Вымская J ₂ vm	124	173.0-175.0	2	2.46	1.64	8e-007	1.3e-006
Лайдинская J ₂ ld	71	175.0-177.0	2	2.46	1.63	8e-007	1.3e-006
Надояхская J ₁ +J ₂ nd	93	177.0-182.5	3	2.46	1.64	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3383						

Примечание. Коричневой заливкой показаны времена накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание. Синей заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-синей заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Серой - размыты палеоген-неогеновых отложений.

Решение прямых задач геотермии выполняется на 52 ключевых момента геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты, перекрывающих материнскую баженовскую, а также точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности и «переломным» моментам формирования и деградации неоплейстоценовой мерзлоты.

Модель процессов нефтегазообразования [100] позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей из РОВ материнских отложений: пороговая геотемпература вхождения в главную зону нефтеобразования (ГЗН) $U \geq 95^\circ\text{C}$ для РОВ гумусово-сапропелевого типа.

Первым основным критерием адекватности и предпочтительности результатов из четырех вариантов выступает оптимальная согласованность максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная согласованность («невязка») расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. Оптимальная «невязка» - это средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений, равная погрешности «наблюдений» [101, 102]. Эта погрешность порядка $\pm 2^\circ\text{C}$.

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине приведено в табл. 6.9. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка $\pm 2^\circ\text{C}$, то варианты 1, 2 и 3 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную в 3 раза и много больше, а разница с пластовой температурой достигает 11–19 $^\circ\text{C}$. Для исследуемой скважины наиболее приемлемым можно признать вариант 4.

Таблица 6.9 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Средне-Ямальская 14

Глубина, м	Измеренные температуры, $^\circ\text{C}$	Способ измерения	Вариант, $^\circ\text{C}$							
			1		2		3		4	
			Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница
1700	83	ОСВ	78	-6	80	-3	80	-3	81	-2
2200	100	ОСВ	95	-5	96	-4	96	-4	97	-3
3000	120	ОСВ	122	+2	121	+1	122	+2	122	+2
846	17	пластовые	36	+19	32	+15	28	+11	23	+6
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), $^\circ\text{C}$			± 10		± 8		± 6		± 4	

Примечание. Коричневой заливкой показан вариант наиболее приемлемый по критерию «невязки».

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 6.10) в разрезе скважины свидетельствует о том, что в вариантах 3 и 4 свита имеет «богатые» термические истории ГФН.

ГФН имеют одинаковое время проявления и одинаковые значения абсолютных максимумов палеотемператур. Но *вариант 3* по критерию «невязки» нельзя признать приемлемыми.

Таблица 6.10 Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Средне-Ямальская 14

Время, млн. лет назад	«Стандартный» вековой ход [18], °C	«Арктический» вековой ход [35], °C	Мощность мерзлых пород [35], м	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °C			
					Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	-4	300	2873	107	97	93	88
0,015	-2	-10	300	2872	107	97	93	88
0,02	-3	-8	300	2872	107	96	93	88
0,030	-4	-5	300	2872	107	96	93	88
0,04	-2	-6	300	2871	107	96	93	88
0,050	-1	-7	300	2871	107	97	93	88
0,070	-4	-4	300	2870	107	97	92	87
0,110	-4	-5	300	2868	107	97	92	86
0,120	-2	-6	300	2868	107	97	91	86
0,130	-1	-7	300	2867	107	96	91	85
0,150	-4	-6	300	2866	107	97	91	85
0,177	-6	-7	300	2864	107	97	91	85
0,1820	-6	-7	300	2864	107	97	91	85
0,1826	-7	-7	600	2864	107	97	91	85
0,200	-7	-8	600	2863	107	98	91	85
0,240	-10	-9	600	2863	107	99	90	85
0,5167	-6	-10	600	2848	106	100	89	91
0,5197	-5	-11	-	2848	106	99	89	91
0,520	-5	-11	-	2848	106	99	89	91
1,8	-3	-13	-	2785	103	97	87	88
3,2	-2	+5	-	2717	100	96	99	100
4,1	+3	+4	-	2673	99	95	98	98
4,9	+5	+4	-	2743	101	97	100	100
5,4	+5	+4	-	2786	103	99	101	102
8,4	+9	+5	-	2736	101	99	100	101
10	+9	+6	-	2726	101	99	101	101
12,5	+10	+6	-	2711	100	100	100	101
14,5	+10	+6	-	2673	100	101	100	101
18,5	+11	+7	-	3108	117	117	118	118
23	+4	+8	-	3093	117	111	117	118
28	+8	+8	-	3023	114	111	115	116
30	+10	+9	-	2973	111	111	113	114
34	+11	+9	-	2893	108	110	110	111
35	+14	+9	-	2878	107	112	110	111
42,6	+20	+12	-	2763	102	114	108	109
50	+21	+15	-	2678	98	112	107	108
50,4	+21	+15	-	2673	98	111	107	108
55	+21	+15	-	2553	93	106	103	103
58	+20	+16	-	2493	91	103	101	101
63,7	+19	+16	-	2443	88	101	99	99
70	+19	+16	-	2362	85	97	96	96
73	+19	+15	-	2323	83	96	94	94
85	+19	+13	-	2136	76	89	84	82
89	+20	+13	-	2074	73	87	82	82
92	+20	+13	-	2030	71	85	81	82
100	+22	+15	-	1642	57	73	68	68
102	+22	+15	-	1545	53	70	65	65
108,5	+22	+15	-	1366	46	64	59	59
120	+22	+16	-	1040	35	54	49	49
134	+21	+15	-	611	21	40	34	34
135	+22	+15	-	542	18	38	32	32
142,5	+22	+15	-	32	1	23	16	16
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²					54.2	49.6	50.8	51.2

Примечание. *Вариант 1* – без учета факторов палеоклимата. *Вариант 2* – учет «стандартного» векового хода температур [18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 3* – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 4* – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты [35]. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темно-серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Расчет интегрального показателя R (табл. 6.11) – экспресс-расчет плотности генерированных ресурсов *баженовских нефтей* – дает максимальное значение для *варианта 4* (73 усл. ед.) примерно то же, что и в *варианте 3* (72 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур, но на 38 % больше, чем в *варианте 1* (53 усл. ед.), в котором не учтен ни один фактор палеоклимата.

Таблица 6.11 Расчет интегрального показателя R , дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных *баженовских нефтей* (скважина Средне-Ямальская 14)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-расчет ресурсов (R), усл. ед	Количество расчетных временных интервалов (n)	Период работы палеоочага млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °С
Вариант 1	53	37	50.4-0.0	50.4	117
Вариант 2	77	42	73.0-0.0	73.0	117
Вариант 3	72	21	70.0-3.2	66.8	118
Вариант 4	73	21	70.0-3.2	66.8	118

Примечание. Заливкой обозначен вариант, наиболее приемлемый по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, именно *вариант 4* наиболее приемлемый по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно (в контексте проведенных исследований) учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских *баженовских* отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

Выводы:

1. На примере представительной скважины Средне-Ямальского месторождения, расположенного в центральной части территории исследований на п-ве Ямал, установлено, что неучет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских *баженовских* отложений.

2. *Вариант 4*, учитывающий факторы палеоклимата – «арктический» вековой ход температур на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту, наиболее приемлемый по сходимости («невязке») измеренных и расчетных геотемператур, представляет «богатую» термическую историю материнских *баженовских* отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

3. Таким образом, при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом можно рекомендовать применение «арктического» векового хода температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300-600 метров [18]. В случае

неучета толщ вечной мерзлоты и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены до 40%.

6.4 Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских нефтематеринских отложений Ростовцевского месторождения

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной Ростовцевская 64 (рис. 6.1, табл. 6.1), определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии с литолого-стратиграфической разбивкой скважины по «Каталогу литолого-стратиграфических разбивок скважин» (табл. 6.12).

Таблица 6.12 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Ростовцевская 64 (без учета неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+неоген $Q-N_2$	266	0.0-4.1	4.1	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N_{1-2}	-113	4.1-5.4	1.3	-	-	-	-
Новопортовская N_{1-2}	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N_1	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская $bsch N_1$	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N_1	-335	14.5-18.5	4	-	-	-	-
Абросимовская N_1	20	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская $tur P_3$	50	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская $nvm P_3$	35	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская $atl P_3$	65	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская $tv P_2$	110	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская $nl P_2$	55	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская P_2ir	180	50.4-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская P_2sr	100	55.0-58.0	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская P_1tb	40	58.0-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K_2+P_1gn	80	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K_2b	338	73.0-89.0	16	2.15	1.41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K_2kz	18	89.0-92.0	3	2.18	1.43	8e-007	1.25e-006
Маррессалинская K_2-K_1mr	466	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K_1jar	206	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K_1tn	718	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K_1ah	750	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J_3+K_2bg	33	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J_2nr	72	149.3-161.7	12.4	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Малышевская J_2ml	105	161.7-171.0	9.3	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J_2ln	113	171.0-173.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3485						

Примечание. Литолого-стратиграфические разбивки изучены и сведены из «Каталога литолого-стратиграфических разбивок» (материалы Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск). Коричневой заливкой показано время накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание. Серой – размывы палеоген-неогеновых отложений.

Наличие перерывов в осадконакоплении и величины денудации подтверждены и оценены путем многовариантных палеотемпературных расчетов при различных сценариях тектоно-седиментационной истории и последующего выбора сценария, отвечающего критерию «невязки».

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на основе анализа вариабельности результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – без учета факторов палеоклимата. *Вариант 2* – учет «стандартного» векового хода температур [18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 3* – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 4* – учет «арктического» векового хода температур, учет динамики неоплейстоценовой мерзлоты [35].

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитываются как своеобразный динамичный литолого-стратиграфический комплекс, обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 0,52 млн. лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 0,3+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений 600-метровой толщей мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [97]. Затем, эта толща мерзлых пород перекрывает осадочный чехол в течение 334 тыс. лет. Далее, «мгновенно» (0,3+0,15+0,15 тыс. лет) толща мерзлых пород деградирует в объеме 300 м. И, далее вечномерзлые породы существуют в объеме 300 м до настоящего времени, в последние 182 тыс. лет (табл. 6.13).

Решение прямых задач геотермии выполняется на 52 ключевых момента геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты, перекрывающих материнскую баженовскую, а также точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности и «переломным» моментам формирования и деградации неоплейстоценовой мерзлоты.

Принятая балансовая модель процессов нефтегазообразования [100] позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей из РОВ гумусово-сапропелевого типа баженовских отложений: пороговая геотемпература вхождения в главную зону нефтеобразования (ГЗН) $U \geq 95$ °С.

Таблица 6.13 Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Ростовцевская 64 (учет неоплейстоценового промерзания осадочного чехла)

Свита, толща (стратиграфия)	Мощность, м	Возраст, млн. лет назад	Время накопления, млн. лет	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·град	Температуропроводность, м ² /с	Тепловыделение, Вт/м ³
Квартер+неоген Q- N ₂	-	0.1820-0.00	0.1820	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	300	0.18215-0.1820	0.00015	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	300	0.1823-0.18215	0.00015	2.10	1.3	7e-007	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	-600	0.1826-0.1823	0.0003	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	-	0.5167-0.1826	0.3341	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	600	0.5197-0.5167	0.003	2.10	2.09	1.05e-006	1.22e-006
Квартер+неоген Q- N ₂	-600	0.520-0.5197	0.0003	-	-	-	-
Квартер+неоген Q- N ₂	266	4.1-0.520	3.58	2.04	1.29	6.5e-007	1,1e-006
N ₁₋₂	-113	4.1-5.4	1.3	-	-	-	-
Новопортовская N ₁₋₂	50	5.4-8.4	3	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Таволжинская N ₁	25	8.4-12.5	4.1	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Бищеульская bsch N ₁	38	12.5-14.5	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
N ₁	-335	14.5-18.5	4	-	-	-	-
Абросимовская N ₁	20	18.5-23.0	4.5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Туртасская tur P ₃	50	23.0-28.0	5	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Новомихайловская nvm P ₃	35	28.0-30.0	2	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Атлымская atl P ₃	65	30.0-34.0	4	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Тавдинская tv P ₂	110	34.0-42.6	8.6	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Нюрольская nl P ₂	55	42.6-50.4	7.8	2.08	1.33	7e-007	1.2e-006
Ирбитская-Р ₂ ir	180	50.4-55.0	4.6	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Серовская-Р ₂ sr	100	55.0-58.0	3	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Тибейсалинская Р ₁ tb	40	58.0-63.7	5.7	2.09	1.35	7e-007	1.2e-006
Ганькинская K ₂ + Р ₁ gn	80	63.7-73.0	9.3	2.11	1.37	7e-007	1.25e-006
Березовская K ₂ b	338	73.0-89.0	16	2.15	1,41	7.5e-007	1.25e-006
Кузнецовская K ₂ kz	18	89.0-92.0	3	2.18	1,43	8e-007	1.25e-006
Маррессалинская K ₂ -K ₁ mr	466	92.0-102.0	10	2.26	1.49	8e-007	1.25e-006
Яронгская K ₁ jar	206	102-108.5	6.5	2.39	1.6	8e-007	1.25e-006
Танопчинская K ₁ tn	718	108.5-133.2	24.7	2.44	1.62	8e-007	1.25e-006
Ахская K ₁ ah	750	133.2-142.7	9.5	2.44	1.64	8e-007	1.25e-006
Баженовская J ₃ +K ₂ bg	33	142.7-149.3	6.6	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Нурминская J ₂ nr	72	149.3-161.7	12.4	2.42	1.62	8e-007	1.3e-006
Мальшевская J ₂ ml	105	161.7-171.0	9.3	2.45	1.63	8e-007	1.3e-006
Леонтьевская J ₂ ln	113	171.0-173.0	2	2.47	1.65	8e-007	1.3e-006
Мощность разреза, м	3485						

Примечание. Коричневой заливкой показано время накопления нефтематеринской баженовской свиты и ее параметрическое описание. Синей заливкой, показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Темно-синей заливкой показано время существования толщи мерзлоты. Серой - размывы палеоген-неогеновых отложений.

Основным критерием адекватности и предпочтительности результатов палеотемпературного моделирования выступает оптимальная согласованность («невязка») максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная «невязка» расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. Оптимальная «невязка», принятая в классической разведочной геофизике, это средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений, равная погрешности «наблюдений» [101, 102]. Эта погрешность порядка ± 2 °С.

В качестве второго основного критерия адекватности и предпочтительности результатов принята степень согласованности очагов интенсивной генерации УВ, выделяемых по геотемпературному критерию в материнской свите, с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине Ростовцевская 64 приведено в табл. 6.14. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка ± 2 °С, то варианты 1 и 2 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную в 2 раза и много больше, а разница с ОСВ достигает 8–12 °С. В случае учета палеоклимата (варианты 3 и 4), как «невязки» для пластовых температур, так и сходимость с «максимальным палеотермометром» оптимальны и примерно равноценны.

Таблица 6.14 Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Ростовцевская 64

Глубина, м	Измеренные температуры, °С	Способ измерения	Вариант, °С							
			1		2		3		4	
			Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница	Расчетное значение	Разница
2470	75	пластовые	84	+9	80	+5	77	+2	75	0
2650	81	пластовые	90	+9	85	+4	82	+1	81	0
2660	81	пластовые	90	+9	86	+5	83	+2	81	0
2096	84	ОСВ	76	–8	81	–3	84	0	85	+1
2600	98	ОСВ	92	–6	96	–2	99	+1	101	+3
2827	111	ОСВ	99	–12	103	–8	106	–5	108	–3
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±9		±5		±2		±2	

Примечание. Коричневой заливкой показаны варианты оптимальные (приемлемые) по критерию «невязки».

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 6.15) показывает следующее. В вариантах 1, 3 и 4 тепловой поток увеличивается

на 2,4–2,6–3,6 мВт/м² по отношению к расчетному значению теплового потока *варианта 2* – 46,7 мВт/м².

Таблица 6.15 Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Ростовцевская 64

Время, млн. лет назад	«Стандартный» вековой ход [18], °C	«Арктический» вековой ход, [35]°C	Мощность мерзлых пород [35], м	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °C			
					Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	-4	300	3179	106	101	98	96
0,015	-2	-10	300	3178	106	100	98	96
0,02	-3	-8	300	3177	106	100	98	96
0,03	-4	-5	300	3177	106	100	98	96
0,04	-2	-6	300	3177	106	100	98	96
0,05	-1	-7	300	3176	106	101	98	95
0,07	-4	-4	300	3174	106	101	97	95
0,11	-4	-5	300	3172	106	101	97	94
0,12	-2	-6	300	3171	106	101	97	93
0,13	-1	-7	300	3171	106	101	97	93
0,15	-4	-6	300	3169	106	101	96	93
0,177	-6	-7	300	3167	106	101	96	93
0,182	-6	-7	300	3167	106	101	96	93
0,1826	-7	-7	600	3167	105	101	96	93
0,20	-7	-8	600	3166	105	102	96	93
0,24	-10	-9	600	3163	105	102	96	93
0,5167	-6	-10	600	3145	104	102	94	98
0,5197	-5	-11	-	3145	104	102	94	98
0,52	-5	-11	-	3145	104	102	94	98
1,8	-3	-13	-	3062	101	99	93	95
3,2	-2	+5	-	2971	98	97	103	105
4,1	+3	+4	-	2913	97	96	102	103
4,9	+5	+4	-	2983	99	97	104	106
5,4	+5	+4	-	3026	100	100	105	107
8,4	+9	+5	-	2976	98	100	104	106
10	+9	+6	-	2966	98	101	105	106
12,5	+10	+6	-	2951	97	101	104	106
14,5	+10	+6	-	2913	97	102	104	106
18,5	+11	+7	-	3248	109	113	117	119
23	+4	+8	-	3228	108	108	117	119
28	+8	+8	-	3178	106	109	114	117
30	+10	+9	-	3143	105	108	114	116
34	+11	+9	-	3078	102	109	112	114
35	+14	+9	-	3065	102	111	112	113
42,6	+20	+12	-	2968	98	114	111	112
50	+21	+15	-	2916	96	112	111	113
50,4	+21	+15	-	2913	96	112	111	113
55	+21	+15	-	2733	88	105	104	106
58	+20	+16	-	2633	85	101	101	102
63,7	+19	+16	-	2593	85	101	101	102
70	+19	+16	-	2539	83	98	99	101
73	+19	+15	-	2513	82	97	97	99
85	+19	+13	-	2260	72	89	86	87
89	+20	+13	-	2175	69	86	83	85
92	+20	+13	-	2157	69	86	83	84
100	+22	+15	-	1784	55	74	71	72
102	+22	+15	-	1691	52	71	68	70
108,5	+22	+15	-	1485	46	65	62	62
120	+22	+16	-	1151	35	55	51	52
134	+21	+15	-	704	21	42	36	37
135	+22	+15	-	625	19	40	34	35
142,5	+22	+15	-	33	1	23	16	16
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²					49,1	46,7	49,3	50,3

Примечание. *Вариант 1* – без учета факторов палеоклимата. *Вариант 2* – учет «стандартного» векового хода температур [18], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 3* – учет «арктического» векового хода температур [35], без учета неоплейстоценовой мерзлоты. *Вариант 4* – учет «арктического» векового хода температур и динамики неоплейстоценовой мерзлоты [35]. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН.

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 6.15) в разрезе скважины Ростовцевская 64 свидетельствует о том, что в *варианте 1* (без учета палеоклимата, т. е. без учета векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты) материнская свита «пережила» самую короткую и самую «холодную» главную фазу нефтеобразования (ГФН).

В *вариантах 2, 3 и 4* (с учетом факторов палеоклимата) баженовская свита имеет «богатые» термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют разные значения абсолютных максимумов палеотемператур.

В *варианте 4* присутствие толщи вечномерзлых пород, обладающих высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a , приводит к увеличению расчетных значений плотности теплового потока q , что, в свою очередь, увеличивает расчетные геотемпературы материнских отложений.

Расчет интегрального показателя R – экспресс-расчет плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей – приведен в табл. 6.16. Максимальные значения для скважины Ростовцевская 64 (*вариант 4*: 76 усл. ед.) примерно то же, что и в *варианте 3* (77 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур, но на 50% больше, чем в *варианте 1* (51 усл. ед.), в котором не учтен ни один фактор палеоклимата.

Таблица 6.16 Расчет интегрального показателя R , дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей (скважина Ростовцевская 64)

Вариант палеотемпературного моделирования	Экспресс-расчет ресурсов (R), усл. ед.	Период работы палеоочага, млн. лет назад	Время работы палеоочага, млн. лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C
Вариант 1	51	50,4–0	50,4	109
Вариант 2	77	73,0–0	73,0	113
Вариант 3	77	73,0–3,2; 0,24–0,0	70,04	117
Вариант 4	76	73,0–0,5167; 0,07–0,0	72,6	119

Примечание. Заливкой обозначены варианты, приемлемые и равноценные по согласованности расчетных геотемператур как с измеренными пластовыми температурами, так и с геотемпературами, определенными по ОСВ.

Таким образом, именно *вариант 4* оптимальный по сходимости измеренных и расчетных геотемператур и наиболее полно (в контексте проведенных исследований) учитывающий основные факторы палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских баженовских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

Как сообщалось выше, баженовская свита является основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового НГК, а также возможной сланцевой формацией. В этой связи важно оценить *согласованность очагов интенсивной генерации*

баженовских нефтей, выделенных по геотемпературному критерию в разрезе скважины Ростовцевская 64., с результатами испытаний верхнеюрских и нижнемеловых пластов (табл. 6.1). Но, к сожалению, в этой скважине верхнеюрский НГК не испытывался, а испытаны только нижнемеловые пласты. Результаты испытаний пластов ахской свиты в целом положительные и подтверждают очаг генерации баженовской нефти в разрезе скважины Ростовцевская 64. А для интенсификации притока при испытании непосредственно баженовской свиты вероятно требуются специальные работы – возможно горизонтальный ствол и гидроразрыв пласта.

Выводы:

1. На примере представительной скважины Ростовцевского месторождения, расположенного в южной части территории исследований на п-ве Ямал, установлено, что не учет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских баженовских отложений.

2. Учет палеоклимата обуславливает заметное увеличение – на 10°C – расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений

3. *Вариант 4*, учитывающий факторы палеоклимата – «арктический» вековой ход температур на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту, оптимальный по сходимости («невязке») измеренных и расчетных геотемператур, представляет наиболее «богатую» термическую историю материнских баженовских отложений, а, следовательно, обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

4. Таким образом, при определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом можно рекомендовать применение «арктического» векового хода температур [35] и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300-600 метров [18]. В случае не учета толщ вечной мерзлоты и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены до 50%.

6.5 Сопоставление и обсуждение результатов

Сопоставляя различные варианты палеотемпературного моделирования, выполненные для разрезов глубоких скважин на месторождениях полуострова Ямал, можно высказать следующие суждения.

1. В случаях неучета векового хода температур на дневной поверхности на Арктическом и Ростовцевском месторождениях (*вариант 1*, табл. 6.5; табл. 6.15) расчетный тепловой поток q увеличен. Но это не приводит к повышению расчетных геотемператур

материнских отложений. Просто происходит компенсация энергетического дефицита, созданного отсутствием солярного источника тепла.

2. В *варианте 4* (табл. 6.5; табл. 6.15), на Арктическом и Ростовцевском месторождениях получено увеличение расчетной плотности теплового потока q . В этих *вариантах* учтен фактор палеоклимата – неоплейстоценовая мерзлота. Увеличение q обусловлено рассеиванием тепла через дневную поверхность за счет высокой теплопроводности λ и температуропроводности a мерзлой толщи, присутствующей в модели палеотектонических и палеотемпературных реконструкций. Учет этого палеоклиматического фактора обуславливает увеличение расчетного палеотемпературного максимума в истории материнских отложений на площадях п-ва Ямал, на 10-13 °С.

3. Анализируя измеренные и расчетные геотемпературы Арктического и Ростовцевского месторождений (табл. 6.4, 6.14) можно заметить, что по классическому геофизическому критерию – критерию «невязки» – результаты *вариантов 3 и 4* оптимальны (приемлемы) и равноценны. Однако, для *варианта 4* учет неоплейстоценовой мерзлоты, наряду с учетом «арктического» векового хода температур на земной поверхности, приводит к увеличению кумулятивного показателя R плотности генерированных ресурсов на 50% и более.

4. Несколько иные результаты получены для скважины Средне-Ямальская 14. Здесь *варианты 1, 2 и 3* решений по критерию «невязки» нельзя признать приемлемыми. Для этой исследуемой скважины приемлемым можно признать только *вариант 4*, в котором учтены и «арктический» вековой ход температур, и неоплейстоценовая мерзлота.

5. *Достоверность результатов палеотемпературного моделирования*, выполненного на Арктической, Средне-Ямальской и Ростовцевской площадях, однозначно подтверждается хорошей согласованностью полученных расчетных значений плотности теплового потока (50-51-58 мВт/м²) с экспериментальными определениями плотности теплового потока для п-ва Ямал: 50-55 мВт/м² [13], 49-56 мВт/м² [32].

6. Интересно отметить для скважины Ростовцевская 64 (табл. 6,15) , что включение в модель динамики вечномерзлых пород (возраст 0,52 млн. лет) закрывает «холодное» окно геотемператур баженовской свиты в период 1,80-0,52 млн. лет назад, присутствующее в *варианте 3* и обусловленное резким похолоданием на земной поверхности в этот период. Но, в свою очередь, с началом формирования вечномерзлых пород, открывается «холодное» окно, начиная с 0,24 млн. лет назад (*вариант 4*).

7. Таким образом, неучет или не полный учет факторов палеоклимата не позволяет построить достаточно строгую физико-математическую модель геотермического режима нефтематеринской баженовской свиты, вскрытой глубокими скважинами в северной части Западной Сибири. А варианты палеотемпературного моделирования на Арктическом,

Ростовцевском и Средне-Ямальском месторождениях полуострова Ямал, наиболее полно учитывающие два основных фактора палеоклимата (вековой ход на земной поверхности и неоплейстоценовую мерзлоту) представляют наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей для арктических земель Западной Сибири.

8. Полученные результаты по арктическому району Западной Сибири вполне согласуются с характером ранее полученных оценок существенного влияния мезозойско-кайнозойского климата, включая резкое похолодание в конце плиоцена и неоплейстоценовую мерзлоту, на геотермический режим осадочного чехла юго-востока Западной Сибири

6.6 Выводы [35, 144]

Построение мезозойско-кайнозойского хода температур на земной поверхности и векового хода мощностей неоплейстоценовых вечномёрзлых пород северо-сибирской палеоклиматической зоны и оценка влияния этих палеоклиматических факторов на реконструкцию геотермического режима нефтематеринской баженовской свиты Арктического, Ростовцевского и Средне-Ямальского месторождений позволяет сделать следующие выводы:

1. Выделены два основных палеоклиматических фактора, вероятно влияющих на реконструируемый геотермический режим осадочного разреза, включая нефтематеринские баженовские отложения, *арктических районов Западной Сибири*: 1-й фактор – мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на поверхности Земли; 2-й фактор – формирование, начиная с 0,5 млн. лет назд, и деградация неоплейстоценовой толщи вечномёрзлых пород.

2. На представительных примерах мезозойско-кайнозойского разреза трех месторождений п-ва Ямал установлено, что учет «арктического» векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских баженовских отложений на *севере Западной Сибири*.

3. Вариант палеотемпературного моделирования, наиболее полно учитывающие два основных фактора палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю баженовских отложений. В этом случае геологическое время нахождения материнских свит в ГЗН увеличивается на 50% и более, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 10–13°C. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

4. При определении ресурсов УВ объёмно-генетическим методом на землях *арктического региона Западной Сибири* рекомендуется применять «арктический» вековой ход температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300-600 метров. В случае

не учета толщ вечной мерзлоты расчетные ресурсы УВ могут быть занижены (по экспресс-расчету - до 50 %), а в случае неучета еще и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены еще значительней (по экспресс-расчету - до 2 раз).

Приведенные выше выводы обосновывают 2-е защищаемое положение:

«Построенный «арктический» мезозойско-кайнозойский вековой ход температур на земной поверхности и установленная динамика 300-600-метровой плиоцен-четвертичной толщи вечномерзлых пород северо-сибирской палеоклиматической зоны позволяют адекватно восстановить термическую историю баженовских нефтематеринских отложений месторождений арктического региона Западной Сибири. При учете зональных палеоклиматических факторов геологическое время нахождения материнской свиты в главной зоне нефтеобразования увеличивается на 50% и более, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 10–13 °С, в случае неучета – ресурсы углеводородов, рассчитанные объемно-генетическим методом, могут быть заметно занижены».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель проведенных исследований – определение влияния (прямого, фактического или косвенного, в расчетах, в реконструкциях) мезозойско-кайнозойского векового хода температур на земной поверхности и неоплейстоцен-голоценовой толщи мерзлоты, на геотермический режим, на оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских и тогурских отложений юго-востока и арктического региона Западной Сибири. *В целом, проведенные исследования выполнены в рамках решения фундаментальной научной проблемы – разработки параметров и эффективных схем количественной оценки перспектив нефтегазоносности регионов Западной Сибири.*

Для исследований влияния палеоклиматических факторов на геотермический режим нефтематеринских отложений применен метод палеотемпературного моделирования, основанный на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей. Это позволило в строгой математической форме включить в модель основные палеоклиматические факторы – вековой ход температур и толщину вечномёрзлых пород и, учитывая квазистационарность теплового потока Западной Сибири начиная с юрского времени, однозначно восстановить значение фундаментального геодинамического параметра – плотность глубинного теплового потока в последние 160-170 млн. лет..

Результаты проведенных исследований, позволившие обосновать **1-е защищаемое положение:**

1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур в мезозое и кайнозое на поверхности Земли южной палеоклиматической зоны Западной Сибири, что позволило определить региональный («местный») вековой ход температур на земной поверхности юго-востока Западной Сибири, начиная с юрского времени – времени осадконакопления нефтематеринских свит.

2. Обосновано, что в южной зоне Западной Сибири мощность толщи мерзлоты в неоплейстоцене составляла порядка 300 м.

3. На примерах представительных глубоких скважин, вскрывших мезозойско-кайнозойский разрез месторождений Томской и Новосибирской областей, установлено, что учет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений на землях юго-востока Западной Сибири.

4. Варианты палеотемпературного моделирования, как на месторождениях Томской области, так и на месторождении Новосибирской области, наиболее полно учитывающие два

основных фактора палеоклимата, представляют наиболее «богатую» термическую историю материнских отложений. В этом случае геологическое время нахождения материнских свит в ГЗН увеличивается до 2-х раз, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 11–14°C. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

5. При определении ресурсов углеводородов объёмно-генетическим методом на землях *юго-востока Западной Сибири* рекомендовано применять «местный» вековой ход температур и толщу мерзлоты мощностью порядка 300 метров. В случае неучета толщ вечной мерзлоты расчетные ресурсы углеводородов могут быть занижены (по экспресс-расчету - до 25–30 %), а в случае неучета еще и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы углеводородов могут быть занижены еще значительней (по экспресс-расчету - от 50 % до 4 раз).

Результаты проведенных исследований, позволившие обосновать **2-е защищаемое положение:**

1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур в мезозое и кайнозое на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири, что позволило определить «арктический» вековой ход температур на земной поверхности севера Западной Сибири, начиная с юрского времени.

2. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе мощностей мерзлых пород неоплейстоцен-голоцена северной палеоклиматической зоны Западной Сибири, что позволило определить вековой ход мощностей вечномерзлых пород севера Западной Сибири.

3. На примерах представительных глубоких скважин, вскрывших мезозойско-кайнозойский разрез трех месторождений п-ва Ямал, установлено, что учет «арктического» векового хода температур на поверхности Земли и динамики толщи мерзлоты позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских баженовских отложений на землях севера Западной Сибири.

4. Вариант палеотемпературного моделирования, наиболее полно учитывающие два основных фактора палеоклимата, представляет наиболее «богатую» термическую историю баженовских отложений. В этом случае геологическое время нахождения материнских свит в ГЗН увеличивается на 50% и более, а абсолютный палеотемпературный максимум возрастает на 10–13°C. Это обеспечивает наибольшую расчетную плотность ресурсов генерированных нефтей.

5. При определении ресурсов углеводородов объёмно-генетическим методом на землях *арктического региона Западной Сибири* рекомендуется применять «арктический» вековой ход температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300–600

метров. В случае не учета толщ вечной мерзлоты и палеоклиматического хода температур расчетные ресурсы УВ могут быть занижены на 40-50 % и более.

Достоверность полученных результатов подтверждена: 1) согласованностью максимума расчетных геотемператур с температурами, определенными по ОСВ, и согласованностью расчетных геотемператур с пластовыми температурами; 2) согласованностью очагов интенсивной генерации УВ, выделяемых по геотемпературному критерию в материнской свите, с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр; 3) согласованностью расчетных значений плотности теплового потока с данными экспериментального определения плотности теплового потока на территории исследований.

Объектом проведенных исследований в арктической зоне был геотермический режим верхнеюрской нефтематеринской баженовской свиты, которая является основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового НГК, а также возможной сланцевой формацией арктического региона Западной Сибири. Вместе с тем, *представляет интерес для дальнейших исследований геотермический режим нижнеюрской китербютской свиты*, являющейся источником формирования залежей УВ в ловушках нижнеюрского и, возможно, доюрского НГК.

Полученные в районе п-ва Ямал первые результаты по оценке роли позднечетвертичных ледниковых покровов - *3-го палеоклиматического фактора* - позволили отметить несущественное влияние ледникового покрова на термический режим материнских баженовских отложений (Исаев и др., 2017). Однако, дополнительная *аргументированная оценка влияние роли ледников как фактора, влияющего на генерацию и формирование залежей УВ, представляет интерес для дальнейших исследований.*

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Вегенер А. Происхождение материков и океанов. – М. – Л.: Гос. изд-во, 1925. – 145 с.
- 2 Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 207 с.
- 3 Kukkonen I.T., Golovanova I.V., Khachay Yu.v., Druzhinin V.S., Kosarev A.M., Scharov V.A. Low geothermal heat flow of the Urals fold belt – implication of low heat production, fluid circulation or palaeoclimate? // *Tectonophysics*. – 1997. – Vol. 276. – pp. 63–85.
- 4 Ерофеев Л.Я., Завидий Т.Ю. Определение поправки за палеоклиматический фактор для коррекции результатов геотермических исследований // *Геофизика*. – 2010. – № 5. – С. 48–52.
- 5 Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Тагирова Ч.Д. Методика расчета глубинных температур с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55. – № 9. – С. 1426–1435.
- 6 Vogt C., Mottaghy D., Rath V., Marquart G., Dijkshoorn L., Wolf A., Clauser C. Vertical variation in heat flow on the Kola Peninsula: palaeoclimate or fluid flow? // *Geophysical Journal International*. – 2014. – Vol. 199. – pp. 829–843.
- 7 Демежко Д.Ю., Горностаева А.А. Реконструкции долговременных изменений теплового потока через земную поверхность по данным геотермии глубоких скважин // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55. – № 12. – С. 1841–1846.
- 8 Большаков В.А. О соотношении количества ледниковых циклов хрона Брюнес, выделяемых в глубоководных и континентальных разрезах // *Физика Земли*. – 2015. – № 5. – С. 20–41.
- 9 Большаков В.А., Прудковский А.Г. Совершенствование орбитально-климатической диаграммы как инструмента интерпретации и анализа палеоклиматических записей поейстоцена // *Вестник Московского университета. Сер. 5. География*. – 2013. – № 6. – С. 30–37.
- 10 Смутьский И.И. Новые результаты по инсоляции Земли и их корреляция с палеоклиматом Западной Сибири в позднем плейстоцене // *Геология и геофизика*. – 2016. – Т. 57. – № 7. – С. 1393–1407.
- 11 Ермаков В.И., Скоробогатов В.А. Тепловое поле и нефтегазоносность молодых плит СССР. – М.: Недра, 1986. – 222 с.
- 12 Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 134 с.

- 13 Kurchikov A. R. The geothermal regime of hydrocarbon pools in West Siberia // Russian Geology and Geophysics. – 2001. – vol. 42. – no. 11-12. – pp. 678–689.
- 14 Исаев В.И., Лобова Г.А., Рояк М.Э., Фомин А.Н. Нефтегазоносность центральной части Югорского свода // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31. – № 2. – С. 15–46.
- 15 Лобова Г.А., Осипова Е.Н., Криницина К.А., Останкова Ю.Г. Влияние палеоклимата на геотермический режим и нефтегенерационный потенциал баженовской свиты (на широтах Томской области) // Известия Томского политехнического университета. – 2013 – Т. 322. – № 1. – С. 45–50.
- 16 Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Демежко Д.Ю. Реконструкции климата на Урале по геотермическим данным // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 12. – С. 1776-1785.
- 17 Лопатин Н.В. Концепция нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем как интегрирующее начало в обосновании поисково-разведочных работ // Геоинформатика. – 2006. – № 3. – С. 101–120.
- 18 Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный Мир, 2007. – 456 с.
- 19 Isaev V.I., Fomin A.N. Loci of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyurofka megadepression // Russian Geology and Geophysics. – 2006. – vol. 47. – no. 6. – pp. 734–745.
- 20 Грецкая Е.В., Литвинова А.В. Строение и развитие нефтегазоносных систем Магаданского бассейна (Северо-Охотский шельф) // Геология нефти и газа. - 2011. - № 6. - С. 132–140.
- 21 Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Malyshev N.A, Safronov P.I., S.A. Gus'kov S.A., Ershov S.V., Kazanenko V.A., Kim N.S, V.A. Kontorovich V.A, Kostyreva E.A., Melenevsky V.N., Livshits V.R., Polyakov A.A., Skvortsov M.B. Historical-geological modeling of hydrocarbon generation in the mesozoic–cenozoic sedimentary basin of the Kara sea (basin modeling) // Russian Geology and Geophysics. – 2013. – vol. 54. – No 8. – pp. 1179–1226.
- 22 Эльгер Ю.С. К вопросу о границах покровного четвертичного оледенения в пределах Западной Сибири и Казахстана // Разведка и охрана недр. - 2015. - № 1. - С. 30- 33.
- 23 Зыкин В.С., Зыкина В.С., Смолянинова Л.Г. Новые данные о наиболее древнем раннечетвертичном оледенении на Горном Алтае // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 466. - № 3. – С. 315-318
- 24 Прищепа О.М. Комплексный способ количественной оценки ресурсов нефти и газа в зонах нефтегазонакопления // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6. – № 4. – http://www.ngtp.ru/rub/6/44_2011.pdf

- 25 Сафронов П.И., Ершов С.В., Ким Н.С., Фомин А.Н. Моделирование процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в юрских и меловых комплексах Енисей-Хатангского бассейна // Геология нефти и газа. - 2011. - № 5. - С. 48–55.
- 26 Tissot B. Preliminary Data on the Mechanisms and Kinetics of the Formation of Petroleum in Sediments. Computer Simulation of a Reaction Flowsheet // Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. – 2003. – vol. 58. – no. 2. – pp. 183-202.
- 27 Попов С.А., Исаев В.И. Моделирование нафтидогенеза Южного Ямала // Геофизический журнал. - 2011. - Т. 33. - № 2. С. - 80–104.
- 28 Гольберт А.В. Основы региональной палеоклиматологии. – М.: Недра, 1987. – 222 с.
- 29 Галушкин Ю.И., Ситар К.А., Куницина А.В. Катагенез органического вещества и реализация нефтегенерационного потенциала в истории погружения глубинных формаций бассейна северо-восточного шельфа Сахалина // Геология нефти и газа. – 2009. – № 2. – С. 61–66.
- 30 Galushkin Y.I. , Sitar K.A., Kunitsyna A.V. Numerical modeling of the organic matter transformation in the sedimentary rocks of the northeastern Sakhalin shelf // Oceanology. – 2011. – Vol. 51. – No. 3. – pp. 491–501.
- 31 Хуторской М.Д., Подгорный Л.В., Супруненко О.И., Ким Б.И., Черных А.А. Термотомографическая модель и прогноз нефтегазоносности осадочного чехла шельфа моря Лаптевых // Доклады академии наук. – 2011.- Т. 440. - № 5. – С. 663-668.
- 32 Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В., Леонов Ю.Г., Подгорных Л.В., Поляк Б.Г., Сухих Е.А., Цыбуля Л.А. Геотермия арктических морей / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2013. – 232 с.
- 33 Nelskamp S., Donders T., van Wess J.-D., Abbink O. Influence of Surface Temperatures on Source Rock Maturity: An Exaple from the Russian Artic // ROGTEC. - 2014. – No. 18. – pp. 26–35.
- 34 Исаев В.И., Искоркина А.А., Лобова Г.А., Фомин А.Н.. Палеоклиматические факторы реконструкции термической истории баженовской и тогурской свит юго-востока Западной Сибири // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. - № 4. – С. 3-25.
- 35 Искоркина А.А. Палеоклиматические факторы реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктического региона Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2016. – Т. 327. – № 8 – С. 59-73.
- 36 Шарбатян А.А. Экстремальные оценки в геотермии и геокриологии. – М.: Наука, 1974. – 123 с.

- 37 Ясаманов Н.А. Реконструкции климатических условий мезозоя и кайнозоя Юга СССР // Методы реконструкции палеоклиматов. – М.: Наука, 1985. – С. 179–184.
- 38 Гольберт А.В., Григорьева К.Н., Ильенок Л.Л., Маркова Л.Г., Скуратенко А.В., Тесленко Ю.В. Палеоклиматы Сибири в меловом и палеогеновом периодах. – М.: Недра, 1977. – 107 с.
- 39 Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 223 с.
- 40 Волкова В.С. Стратиграфия и тренд палеотемператур в палеогене и неогене Западной Сибири (по данным палинологии) // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 7. – С. 906–915.
- 41 Исаев В.И., Рылова Т.Б., Искоркина (Гумерова) А.А. Палеоклимат Западной Сибири и реализация генерационного потенциала нефтематеринских отложений // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 93–102.
- 42 Исаев В.И., Искоркина А.А. Мезозойско-кайнозойский ход температур на поверхности Земли и геотермический режим юрских нефтематеринских отложений (южная палеоклиматическая зона Западной Сибири) // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36. – № 5. – С. 64–80.
- 43 Фотиев С.М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). – Новосибирск: Академ. изд-во “Гео”, 2009. – 279 с.
- 44 Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Под ред. А.А. Величко. – М.; ГЕОС, 1999. – 260 с.
- 45 Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенных областей Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене (Сообщение 1) // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX. – № 2. – С. 3–22.
- 46 Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенных областей Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене (Сообщение 2) // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X. – № 2. – С. 3–26.
- 47 Горелик Я.Б., Колунин В.С. Удивительная мерзлота // Природа. – 2001. – № 10. – С. 7–15.
- 48 Павлов А.В., Гравис Г.Ф. Вечная мерзлота и современный климат // Природа. – 2000. – № 4. – С. 10–18.
- 49 Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Исаев В.И. Влияние отложений позднечетвертичной мерзлоты на термическую историю нефтематеринских отложений Западной Сибири // Сборник материалов III Школы-конференции «Гординские чтения». – М.: ИФЗ РАН, 2015. – С.144–151.

- 50 Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Исаев В.И. Моделирование геотермического режима нефтематеринских отложений с учетом неоплейстоценового оледенения // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции.– Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – С. 176-180.
- 51 Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Исаева О.С., Косыгин В.Ю., Исаев В.И. Позднечетвертичная вечная мерзлота как фактор геотермического режима и реализации нефтегенерационного потенциала баженовской свиты (Томская и Новосибирская области) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 10. – С. 6-23.
- 52 Баулин В.В. Многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР. – М.: Недра. – 1985. – 176 с.
- 53 Чеховский А.Л. Влияние складчатых структур осадочного чехла на поведение нижней границы многолетнемерзлых пород // Тр. ПНИИИС. – 1975. – вып. 36. – С. 65-73.
- 54 Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII. – № 3. – С. 22-27.
- 55 Орлова В.В. Климат СССР. Западная Сибирь. – Л.: Гидрометиздат. – 1962. – 359 с.
- 56 Баулин В.В., Белопухова Е.Б., Дубиков Г.И., Шмелев Л.М. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. – М.: Наука, 1967. – 213 с.
- 57 Volkova V.S. Geologic stages of the paleogene and neogene evolution of the Arctic shelf in the Ob' region (West Siberia) // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – vol. 55. – no. 4. – pp. 619–633.
- 58 Астахов В.И. О хроностратиграфических подразделениях верхнего плейстоцена Сибири // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 11. – С. 1207-1220.
- 59 Берлин Т.С., Киприкова Е.Л., Найдин Д.П., Полякова Н.Д., Сакс В.Н., Тейс Р.В., Хабаков А.В. Некоторые проблемы палеотемпературного анализа (по ростам белемнитов) // Геология и геофизика. – 1970. – №4. – С. 36-43.
- 60 Clayton R., G. Stevens. Paleotemperatures of New Zeland belemnites. Stable isotopes in oceanographie studies and paleotemperatures. Spoleto – Pisa: Laborat digedogia nucleare, 1968. – 199-204 p.
- 61 Кулькова И.А., Волкова В.С. Ландшафты и климат Западной Сибири в палеогене и неогене // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 3. – С. 581-595.
- 62 Шейнкман В.С., Плюснин В.М. Оледенение севера Западной Сибири – спорные вопросы и пути их решения // Лед и снег. – 2015. – Т. 129. – № 1. – С. 103-120.

- 63 Гусков С.А., Волкова В.С. История геологического развития арктических районов Западно-Сибирской геосинеклизы в кайнозойское время // ИНТЕРЭКСПО Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 2. – № 2. – С. 1-4.
- 64 Шполянская Н.А.. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 167 с.
- 65 Сарана В.А. Ледники Плато Путорана // Вестник московского университета, серия 5. География. – 2005. – № 6. – С.47-54.
- 66 Данилов И.Д., Парунин О.Б., Марьенко В.А., Чугунов А.Б. Возраст мерзлых отложений и изотопный состав залежей подземных льдов полуострова Ямал (север Западной Сибири) // Геохронология четвертичного периода. – М.: Наука, 1992. – С. 118-124.
- 67 Васильчук Ю.К., Серова А.К., Трофимов В.Т. Новые данные об условиях накопления каргинских отложений на севере Западной Сибири // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. – 1984. – № 53. – С. 28-35.
- 68 Астахов В.И., Назаров Д.В. Стратиграфия верхнего неоплейстоцена севера Западной Сибири и ее геохронометрическое обоснование // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 43. – С. 36-47.
- 69 Гольберт А.В., Маркова Л.Г., Полякова И.Д., Сакс В.Н., Тесленко Ю.В. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене. – М.: Наука, 1968. – С. 144 с.
- 70 Тейс Р.В., Найдин Д.П., Сакс В.Н. Определения позднелюрских и раннемеловых палеотемператур по изотопному составу кислорода в рострах белемнитов // Труды Ин-та геологии и геофизики. СО АН СССР. – вып. 48. – 1968. – С. 8-15.
- 71 Берлин Т.С., Хабаков А.В. Методика и результаты определения электрокинематических потенциалов карбонатов в осадочных породах // Физические методы исследования осадочных пород и минералов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 12-14.
- 72 Волкова В.С., Михайлова И.В. Природная обстановка и климат в эпоху последнего (Сартанского) оледенения Западной Сибири (по палинологическим данным) // Геология и геофизика. – 2001. – № 4. – С. 678-689.
- 73 Глобальные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / отв. ред. А.П. Деревянко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 511 с.
- 74 Архангелов А.А., Карташова Г.Г. Палеогеография Колымской низменности в позднем плиоцене // Климаты Земли в геологическом прошлом / под ред. А.А. Величко, А.Л. Чепалыга. – М.: Наука, 1987. – 229 с.

- 75 Волкова В.С., Кузьмина О.Б. Флора, растительность и климат среднего кайнофита (палеоцен-эоцен) Сибири (по палинологическим данным) // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 8. – С.844-855.
- 76 Лебедева И.М., Котляков В.М., Ананичева М.Д., Кононов Ю.М., Давидович И.В. Оледенения и ледниковый сток горных стран северного полушария при глобальных потеплениях по палеоклиматическим сценариям // Информационный бюллетень РФФИ. – 1999. – Вып.7. <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2057/item.asp?id=750236>
- 77 Добрецов Н.Л., Зыкин В.С., Зыкина В.С. Структура лессово-почвенной последовательности плейстоцена Западной Сибири и ее сопоставление с Байкальской и глобальными летописями изменения климата. // Доклады академии наук. Серия География. – 2003. – Т. 391. – № 6. – С. 821-824.
- 78 Гаврилов А.В. Криолитозона арктического шельфа Восточной Сибири (современное состояние и история развития в среднем плейстоцене-голоцене). Автореферат на соискание ученой степени д. г.-м. н., спец. 25.00.08, М., 2008. – 288 с.
- 79 Баулин В.В. История «подземного оледенения» Западной Сибири в связи с трансгрессией Арктического бассейна. Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – С. 404-409.
- 80 Груздов А.В., Трофимов В.Т., Филькин Н.А. Основные закономерности распространения, строения толщ и температур многолетнемерзлых пород Тазовского полуострова и бассейнов рек Надым и Пур // Природные условия Западной Сибири. МГУ Москва. – 1972. – вып. 2. – С. 115-133.
- 81 Герасимов И.П. Четвертичная геология (Палеогеография четвертичного периода): учебное пособие. – М.: Изд-во Наркомпроса РСФСР, 1939. – 363 с.
- 82 Геокриология СССР. Средняя Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 41 с.
- 83 Бадю Ю.Б. Влияние газоносных структур на мощность криогенной толщи Ямала // Криосфера Земли. – 2014. – Т. XVIII. – № 3. – С. 11-22.
- 84 Трофимов В.Т. Полуостров Ямал. – М.: Изд-во Московского Университета, 1980. – 246 с.
- 85 Свиточ А.А. Палеогеография плейстоцена. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 188 с.
- 86 Гаврилов А.В. Типизация Арктических шельфов по условиям формирования мерзлых толщ // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII. – № 3. – С. 69-79.
- 87 Трофимов В.Т. Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк). – М.: Изд-во Московского Университета, 1975. – 302 с.

- 88 Разумов С.О., Спектор В.Б., Григорьев М.Н. Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых // *Океанология*. – 2014. – Т. 54 – № 5. – С. 679-693.
- 89 Романовский Н.Н., Тумской В.Е. Ретроспективный подход к оценке современного распространения и строения шельфовой криолитозоны Восточной Арктики // *Криосфера Земли*. – 2011. – Т. XV.– № 1. – С. 3-14.
- 90 Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (Криолитология). – М.: Изд-во Московского Университета, 1967. – 302 с.
- 91 Кудрявцев В.А. О минимальном криогенном возрасте многолетнемерзлых пород в различных мерзлотно-температурных зонах СССР // *Вестн. МГУ. Сер.4. Геология*. – 1970. – № 2. – С.117-124.
- 92 Gulenok R.Yu., Isaev V.I., Kosygin V.Yu., Lobova G.A., Starostenko V.I. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data // *Russian Journal of Pacific Geology*. – 2011. – vol. 5. – no. 4. – pp. 273–287.
- 93 Исаев В.И., Лобова Г.А., Мазуров А.К., Фомин А.Н., Старостенко В.И. Районирование баженовской свиты и клиноформ неокома по плотности ресурсов сланцевой и первично-аккумулятивной нефти (на примере Нюрольской мегавпадины) // *Геофизический журнал*. – 2016. – Т. 38. – № 3. – С. 29–51.
- 94 Исаев В.И. Палеотемпературное моделирование осадочного разреза и нефтегазообразование // *Тихоокеанская геология* – 2004. – Т. 23. – № 5. – С. 101–115.
- 95 Connan J. Time-temperature relation in oil genesis // *AAPG Bull.* – 1974. – Vol. 58. – pp. 2516–2521.
- 96 Хант Дж. Геохимия и геология нефти и газа. – М.: Мир, 1982. – 704 с.
- 97 Иванов Н.С., Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – М.: Наука, 1965. – 74 с.
- 98 Исаев В.И., Гуленок Р.Ю., Веселов О.В., Бычков А.В., Соловейчик Ю.Г. Компьютерная технология комплексной оценки нефтегазового потенциала осадочных бассейнов // *Геология нефти и газа*. – 2002. – № 6. – С. 48–54.
- 99 Харленд У.Б., Кокс А.В., Ллевеллин П.Г., Пиктон К.А.Г., Смит А.Г., Уолтерс Р. Шкала геологического времени. – М.: Мир, 1985. – 140 с.
- 100 Бурштейн Л.М., Жидкова Л.В., Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) // *Геология и геофизика*. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.

- 101 Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. – Киев: Наук. думка, 1978. – 228 с.
- 102 Isaev V.I. Interpretation of High-Accuracy Gravity Exploration Data by Mathematic Programming // Russian Journal of Pacific Geology. – 2013. – vol. 7. – no. 2. – pp. 92–106.
- 103 Лобова Г.А., Попов С.А., Фомин А.Н. Локализация прогнозных ресурсов нефти юрско-меловых НГК Усть-Тымской мегавпадины // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 36–40.
- 104 Isaev V.I., Lobova G.A., Osipova E.N. The oil and gas contents of the Lower Jurassic and Achimovka reservoirs of the Nyurol'ka megadepression // Russian Geology and Geophysics. - 2014. – Vol. 55. – pp. 1418–1428.
- 105 Razvozhzaeva E. P., Kirillova G. L., Prokhorova P. N. Comparative analysis of fragments of the Mesozoic East Asian continental margin: the Kyndal (Bureya Basin, Russia) and Suibin (Sanjiang Basin, China) troughs // Russian Journal of Pacific Geology. – 2014. – Vol. 8. – No. 6. – pp. 404–422.
- 106 Дучков А.Д., Галушкин Ю.И., Смирнов Л.В., Соколова Л.С. Эволюция температурного поля осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. – 1990. – № 10. – С. 51–60.
- 107 Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. – Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2011. – 331 с.
- 108 Kontorovich V. A., Belyaev S. Yu., Kontorovich A. E., Krasavchikov V. O., Kontorovich A. A., Suprunenko O. I. Tectonic structure and history of evolution of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic // Russian Geology and Geophysics. - 2001. – Vol. 42. – pp. 1832–1845.
- 109 Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.
- 110 Решение 5-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины, Тюмень, 1990 г. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. – 54 с.
- 111 Даненберг Е.Е., Белозёров В.Б., Брылина Н.А. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 291 с.

112 Осипова Е.Н., Исаева О.С., Исаев В.И. Моделирование очагов генерации нефти и распределения ресурсов ачимовских клиноформ Нюрольской мегавпадины // Геоинформатика. – 2014. – № 2. – С. 29–34.

113 Осипова Е.Н., Лобова Г.А., Исаев В.И., Старостенко В.И. Нефтегазоносность нижнемеловых резервуаров Нюрольской мегавпадины // Известия ТПУ. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 14–33.

114 Сурикова Е.С., Калинина Л.М. История тектонического развития Межовского мегамыса и модель геологического строения Верх-Тарского нефтяного месторождения. Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т. 5. – № 1 – http://www.ngtp.ru/rub/4/14_2010.pdf.

115 Iskorkina A.A., Isaev V. I., Fomin A. N. Influences of Neo-Pleistocene permafrost on thermal history of petromaternal Lower Jurassic Togur suite (Tomsk region) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 43 (2016) 012017 - <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/43/1/012009/pdf> - SCOPUS

116 Лобова Г.А. Оценка перспектив нефтегазоносности верхнеюрско-меловых отложений Усть-Тымской мегавпадины по результатам палеотемпературного моделирования // Вестник Воронежского государственного университета, серия: Геология. – 2012. – № 2. – С. 169–178.

117 Искоркина А.А., Брылина И.В., Корниенко А.А., Исаев В.И. Разработка эффективной методики оценки ресурсов углеводородов с применением сравнительно-исторического метода и геотермии как нового метода разведочной геофизики // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 7. – С. 60–69.

118 Лобова Г.А., Искоркина А.А., Исаев В.И., Старостенко В.И. Нефтегазоносность нижнеюрских и доюрских резервуаров Усть-Тымской мегавпадины // Геофизический журнал. – 2015. – Т. 37. - № 1. – С. 3-20.

119 Iskorkina A., Isaev V. and Terre D. Assessment of Mesozoic-Kainozoic climate impact on oil-source rock potential (West Siberia) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 27 (2015) 012023 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012023/pdf>

120 Исаев В.И., Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Стоцкий В.В. Реконструкции мезозойско-кайнозойского климата и оценка его влияния на геотермическую историю и реализацию нефтегенерационного потенциала баженовских отложений юго-востока Западной Сибири // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2015. – вып. 17. – С. 8–18.

121 Искоркина А.А., Исаев В.И. Мезозойско-кайнозойский тренд температур на поверхности Земли как фактор реализации генерационного потенциала нефтематеринских отложений Западной Сибири // Вопросы теории и практики геологической интерпретации

гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 41-ой сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. – С. 149-152.

122 Искоркина А.А. Влияние мезозойско-кайнозойского климата на геотермический режим нефтематеринских баженовских отложений Нюрольской мегавпадины // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 7-11 апреля 2014. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 394–396.

123 Искоркина А.А. Оценка влияния палеоклимата на геотермический режим и реализацию генерационного потенциала материнских тогурских отложений Нюрольской мегавпадины // XV Уральская молодежная научная школа. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014. – С. 116-119.

124 Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Стоцкий В.В. Оценка влияния палеоклимата на геотермический режим материнских отложений и нефтегазоносность верхнеюрского НГК южной палеоклиматической зоны Западной Сибири // Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – С. 162-167.

125 Искоркина А.А., Исагалиева А.К., Лузянин В.А. Геотермия как метод разведочной геофизики (на примере оценки ресурсов углеводородов неокома Западной Сибири) // Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – С. 167-173.

126 Искоркина А.А. Мезозойско-кайнозойский климат и геотермический режим баженовских нефтематеринских отложений (южная зона Западной Сибири) // Современные проблемы географии и геологии: материалы III Международной научно-практической конференции с элементами школы-семинара для студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 11-12 Ноября 2014. - Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – С. 629-633.

127 Искоркина А.А., Стоцкий В.В., Исаев В.И. Влияние палеоклимата на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала нижнеюрских тогурских отложений юго-востока Западной Сибири // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 42-сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского, Пермь, 26-30 Января 2015. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – С. 86-89.

128 Стоцкий В.В., Искоркина А.А., Исаев В.И. Влияние палеоклимата на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала верхнеюрских баженовских отложений юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 42-сессии

Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского, Пермь, 26-30 Января 2015. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – С. 197-199.

129 Искоркина А.А., Исагалиева А.К. Влияние палеоклимата на геотермическую историю нефтематеринских отложений Южно-Сибирского и Северо-Казахстанского регионов // Территориальные исследования: Тезисы VIII Всероссийской школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов. Биробиджан, 22-25 сентября 2015 г. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН – ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2015. – С. 112-115.

130 Искоркина А.А. Оценка влияния неоплейстоценовой мерзлоты на геотермический режим баженовской свиты (Томская область) // Трофимуковские чтения – 2015: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. – С. 105-109

131 Искоркина А.А. Влияние позднечетвертичных вечномерзлых пород на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала баженовской свиты // Геофизические методы при разведке недр: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 118–122.

132 Искоркина А.А. Влияния неоплейстоценовой мерзлоты на термическую историю нефтематеринской нижнеюрской Тогурской свиты (Томская область) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 472-474.

133 Геологическое строение и нефтегазоносность нижней-средней юры Западно-Сибирской провинции / Под ред. В.С. Суркова / – Новосибирск: Наука, 2005. – 156 с.

134 Курасов И.А. Условия формирования и перспективы нефтегазоносности юрских отложений северной части Западной Сибири и прилегающей акватории Карского моря: *дисс. канд. геол.-мин. наук.* – Москва, 2015. – 136 с.

135 Богоявленский В.И., Полякова И.Д. Перспективы нефтегазоносности больших глубин Южно-Карского региона // Арктика: экология и экономика – 2012. - № 3 (7). - С. 92-103.

136 Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кн.9: Кайнозой Западной Сибири /в 9 кн/ ИГНиГ СО РАН, СНИИГГиМС. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 246 с.

137 Беляев С. Ю., Гуськов С. А., Волкова В. С., Истомин А. В. История тектонического развития арктических районов Западно-Сибирской геосинеклизы в кайнозойское время // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 2. – №1. [http://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-](http://cyberleninka.ru/article/n/istoriya)

138 Базы данных Государственных геологических карт ВСЕГЕИ. Карта дочетвертичных образований R(40)-41, R-43, 44(45). <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/> (обращение 25.05.2016г.)

139 Конторович А.Э. Проблемы реиндустриализации нефтегазового комплекса России // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №3. – С.14-15.

140 Lobova G. A., Isaev V. I., Fomin A. N., Stotsky V. V. Searches Shale Oil in Western Siberia // International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016): Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: Conference Proceedings, Albena, 28 June–7 July 2016. – Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2016. – Vol. 1–3 – pp. 941–948.

141 Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с

142 Справочник физических констант горных пород (ред. С. Кларк мл.). – М.: Мир, 1969. – 544 с.

143 Веселов О.В., Волкова Н.А. Радиоактивность горных пород Охотоморского региона // Геофизические поля переходной зоны Тихоокеанского типа. – Владивосток: ДВО РАН, 1981. – С. 51–70.

144 Исаев В.И., Искоркина А.А., Косыгин В.Ю., Лобова Г.А., Осипова Е.Н., Фомин А.Н. Комплексная оценка палеоклиматических факторов реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктических районов Западной Сибири // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. - № 1 – С. 13-28.

145 Strakhov V.N., Golizdra G.Ya., Starostenko V.I. Theory and practice of interpreting potential fields: Evolution in the 20th century // Izvestiya - Physics of the Solid Earth. – 2000. – Vol. 36. – No. 9. – pp. 742–762.