

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/21_2015

УДК 551.345:536:552.578.061.32(571-12)

Исаев В.И.

Институт природных ресурсов Томского политехнического университета, Томск, Россия, isaevvi@tpu.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ПОХОЛОДАНИЯ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Определены вероятные палеоклиматические факторы, влияющие на формирование геотермического режима нефтематеринских отложений: 1) вековой ход температур на поверхности Земли; 2) формирование и деградация неоплейстоценовой толщи вечномерзлых пород; 3) позднечетвертичные ледниковые покровы. Цель исследований - количественная оценка влияния мерзлоты на геотермический режим и реализацию генерационного потенциала баженовских отложений на юго-востоке Западной Сибири (широты Томской области). Применена авторская методика исследований, основанная на методе палеотемпературного моделирования – решении обратной и прямой задач геотермии в условиях седиментации. Установлено, что необходим учет мерзлоты мощностью порядка 300 м для адекватного восстановления термической истории нефтематеринских отложений на землях юго-востока Западной Сибири. Это позволит корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования и не занижать (до 25%) расчетные ресурсы углеводородов.

Ключевые слова: *геотермический режим баженовских отложений, неоплейстоценовая мерзлота, палеотемпературное моделирование, ресурсы углеводородов, юго-восток Западной Сибири.*

Обзор проблемы и постановка задачи

Подсчет ресурсов углеводородов (УВ) регионов, крупных территорий и зон нефтегазонакопления выполняется объемно-генетическим методом (бассейновое моделирование), а также его модификациями с комплексированием способов классической геологии [Прищепа, 2011]. Количество генерированных УВ определяется на основе реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений.

Накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние палеоклимата на температурный режим осадочно-вулканогенных и магматических комплексов [Kukkonen et al.; 1997; Ерофеев, Завидий, 2010; Голованова, Сальманова, Тагирова, 2014; Vogt et al., 2014], а также на термическую историю непосредственно нефтематеринских отложений [Ермаков, Скоробогатов, 1986; Исаев и др., 2009; Лобова и др., 2013б; Isaev, Lobova, Osipova, 2014].

Зарубежные системы бассейнового моделирования (например, Temis), используемые для определения ресурсов юрско-меловых комплексов Западной Сибири, не учитывают

мезозойско-кайнозойские климатические условия на поверхности Земли [Сафронов и др., 2011; Малышев, Обметко, Бородулина, 2012]. Эти программы не позволяют количественно моделировать климатические события, приводящие к существенному изменению геотемпературного поля во всем осадочном чехле.

В тоже время, анализ основных этапов развития северной части Западной Сибири в кайнозое говорит о следующем [Конторович и др., 2013]. В конце плиоцена произошло глобальное событие – резкое похолодание климата. Особенно значительное уменьшение температур имело место в позднем плейстоцене. К концу позднего плейстоцена 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 3500 м. Резкое похолодание климата, промерзание пород осадочного чехла, ледниковые покровы могли приводить к снижению геотемпературного поля во всем чехле до 20 °С.

По последним данным [Эльгер, 2015] вечная мерзлота присутствовала не только в 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.

Таким образом, качественное рассмотрение процессов позднечетвертичного климатического похолодания позволяет выделить три основных фактора, влияющих на температурный режим осадочного чехла, а, следовательно, на термическую историю нефтематеринских отложений и на степень реализации их генерационного потенциала. *1-ый фактор* - это вековой ход температур на поверхности Земли, обуславливающий солярный источник тепла для процессов генерации нефтей. *2-ой фактор* – это толщи вечномерзлых пород, перекрывающие материнские отложения и обладающие аномально высокой теплопроводностью. *3-й фактор* – это ледниковые покровы, своеобразные литолого-стратиграфические комплексы, существенно увеличивающие мощность перекрывающих отложений.

Ряд ученых и специалистов, занимающихся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций, учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [Лопатин, 2006; Галушкин, Ситар, Куницина, 2011; Хуторской и др., 2013]. При этом используются отечественные системы бассейнового моделирования, например, ГАЛО [Галушкин, 2007]. Применяемый здесь вековой ход температур можно условно назвать «стандартным», т.к. он не учитывает особенностей региональных палеоклиматических зон [Гольберт, 1987].

К настоящему времени выполнены исследования влияния векового хода температур на земной поверхности на геотермический режим баженовских и тогурских нефтематеринских отложений южной палеоклиматической зоны (юго-востока) Западной Сибири, на примере районов нефтепромыслов Томской и Новосибирской областей [Лобова, Стоцкий, Исаев, 2014; Исаев, Искоркина, 2014; Исаев, Лобова, Фомин, 2015]. Оценка выполнена на основе анализа вариабельности результатов палеотемпературных реконструкций при трех основных допущениях: 1) вековой ход температур не учитывается; 2) палеоклимат учитывается по «стандартному» вековому ходу температур; 3) палеоклимат учитывается по «местному» вековому ходу температур, полученному для южно-сибирской палеоклиматической зоны. «Местный» вековой ход температур земной поверхности был построен [Исаев, Рылова, Искоркина, 2014] на основе аналитической сводки позднечетвертичных палеоклиматических реконструкций для Западно-Сибирской низменности А.А. Шарботяна (1974), результатов реконструкции климатических условий мезозоя юга Западной Сибири Н.А. Ясаманова (1985), результатов реконструкции палеоклиматов Сибири в меловом и палеогеновом периодах по А.В. Гольберту с соавторами (1977, 1987), истории климата Западной Сибири, начиная с позднего миоцена, по В.А. Зубакову (1990), установленных В.С. Волковой (2011) трендов среднегодовых температур в палеогене и неогене Западной Сибири.

Результаты исследований позволили сделать следующие выводы [Исаев, Лобова, Фомин, 2015].

1. Установлено существенное влияние векового хода температур на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала баженовской и тогурских свит, формирующей залежи УВ нефтегазоносных комплексов юго-востока Западной Сибири. Показано, что неучет палеоклимата не позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений. Это может занижать до 2-х раз и более величины расчетных ресурсов объемно-генетическим методом.

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

3. Установлено, что при определении ресурсов УВ на землях юго-востока Западной Сибири предпочтительно применять «местный» вековой ход температур на земной поверхности, построенный для южной палеоклиматической зоны Западной Сибири. Это позволит более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования и не завышать/занижать (до 30-40%) расчетные ресурсы.

Цель настоящих исследований – определить влияние **неоплейстоценовой толщи мерзлоты** на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала баженовских отложений юго-востока Западной Сибири. Насколько известно, подобные исследования еще не проводились.

Характеристика объекта исследований

Моделирование палеогеотемпературных условий для баженовских отложений выполнено для осадочного разреза глубокой скв. 183 Лугинецкого месторождения, расположенного в Томской области (табл. 1, рис. 1). На Лугинецком месторождении залежи УВ связаны в основном с верхнеюрскими коллекторами (горизонт Ю₁). Главным источником формирования залежей УВ в ловушках горизонта Ю₁ ($J_{3vс}$) и всего мелового комплекса являются потенциально нефтематеринские отложения баженовской свиты (J_{3bg}). Генерационный потенциал баженовских отложений в пределах этой территории обусловлен высоким содержанием сапропелевого материала ($C_{орг}$ до 12%), их повсеместным распространением и мощностью до 30 м.

Таблица 1

Характеристика разреза скв. Лугинецкая 183 (Пудинское мезоподнятие)

Характеристики	Значение
Забой, м	2500
Отложения на забое (свита)	Тюменская
Кровля баженовской свиты, м	2313
Мощность баженовской свиты, м	16
Результаты испытаний (свита; пласт; тип флюида; дебит)	Васюгагская; Ю ₁ ² ; нефть; 11, 5 м ³ /сут. Васюгагская; Ю ₁ ² ; нефть; 13, 0 м ³ /сут.
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; пластовая температура)	Куломзинская; 2200 м; 77 °С. Тюменская; 2350 м; 84 °С.
«Измеренные» температуры по ОСВ (свита; глубина отбора; температура)	Васюганская; 2345 м; 98 °С

Примечание. Данные испытаний, пластовые температуры приняты из первичного «дела скважины» (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»). Данные ОСВ определены в Лаборатории геохимии нефти и газа Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск).

Мощность толщи мерзлоты в неоплейстоцене принята по А.А. Шарбатяну [Шарбатян, 1974] (табл. 2). В этой работе исследовалась возможность образования многолетнемерзлых пород в четвертичное время. При моделировании на гидроинтеграторе для района 61° с.ш. (участок широтного течения р. Оби) на расчетный промежуток 245 тыс. лет назад в качестве верхних граничных условий задачи взят вековой ход температур на поверхности грунта. Вековой ход температур поверхности грунта определен по кривой векового хода солнечной радиации (по М. Миланковичу) с учетом географических особенностей района.

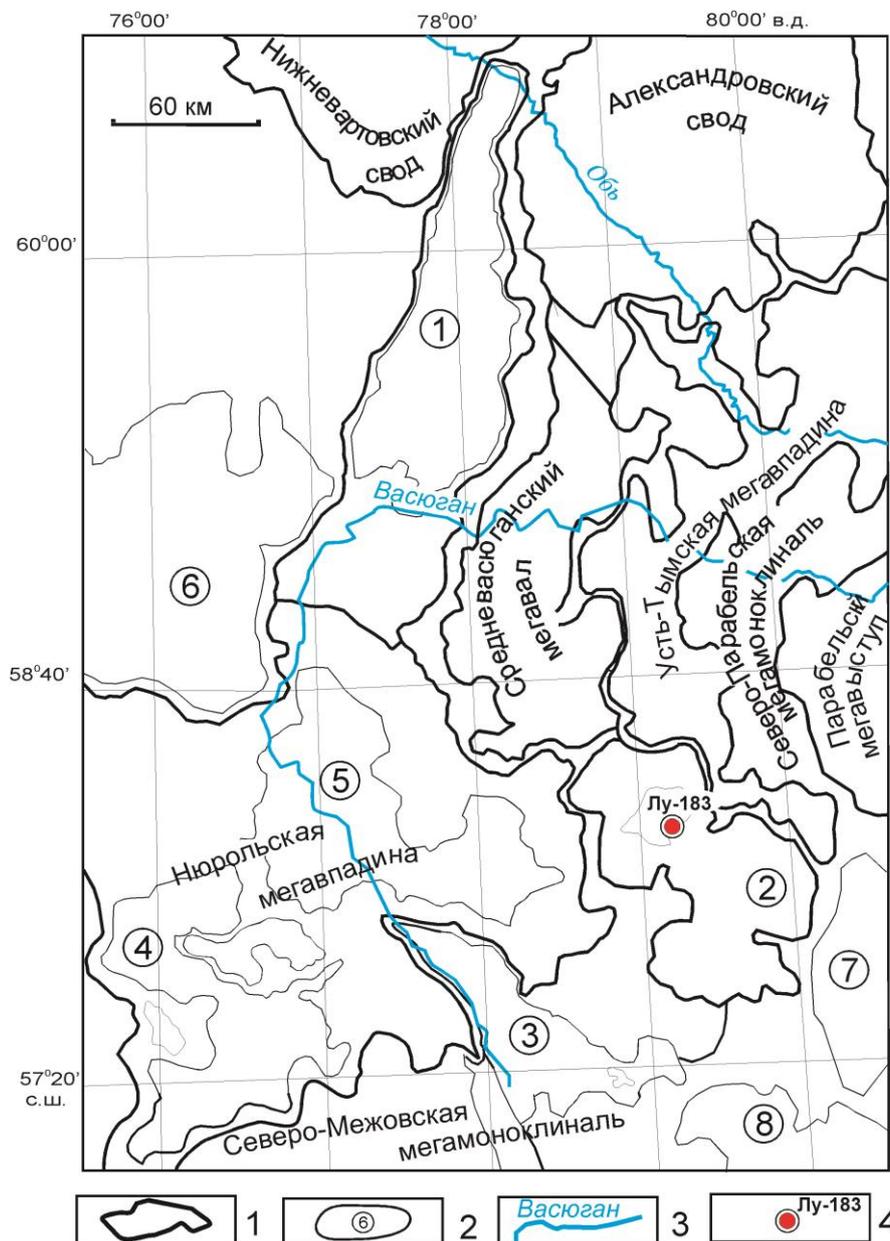


Рис. 1. Положение исследуемой скв. Лугинецкая 183 на обзорной тектонической схеме юрского структурного яруса юго-востока Западной Сибири (на основе [Конторович, 2002])

1 – структуры I порядка; 2 – структуры II порядка: 1 – Колтогорский мезопрогиб, 2 – Пудинское мезоподняtie, 3 – Лавровский мезовыступ, 4 – Южно-Нюрольская мезовпадина, 5 – Центрально-Нюрольская мезовпадина, 6 – Нововасюганский мезовал, 7 – Горелоярское мезоподняtie, 8 – Калгачский мезовыступ; 3 – реки; 4 – исследуемая скважина.

Методика исследований

Восстановление термической истории отложений баженовской свиты выполнено на основе *палеотектонических реконструкций и палеотемпературного моделирования*. В настоящей работе применен метод палеотемпературного моделирования [Isaev, Volkova, Nim, 1996; Isaev, Fomin, 2006; Gulenok et al., 2011; Лобова, Стоцкий, Исаев, 2014]. В работе [Лобова, Стоцкий, Исаев, 2014] математическую модель реконструкций охарактеризована

достаточно подробно. Здесь модель приводится только в той мере, которая необходима в контексте настоящей статьи.

Таблица 2

Изменение во времени мощности многолетнемерзлых пород (для района 61° с.ш.)
[Шарбатян, 1974]

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	-4,3
5	0	+2,5

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

$$\frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial Z} \left(\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \right) = f \quad (1),$$

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

$$U|_{Z=\varepsilon} = U(t) \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \Big|_{Z=0} = q(t) \quad (3),$$

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 расчетом палеотемператур. Алгоритм палеотектонических реконструкций основывается на «методе выравнивания профилей» по В.Б. Нейману (1984).

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. 2).

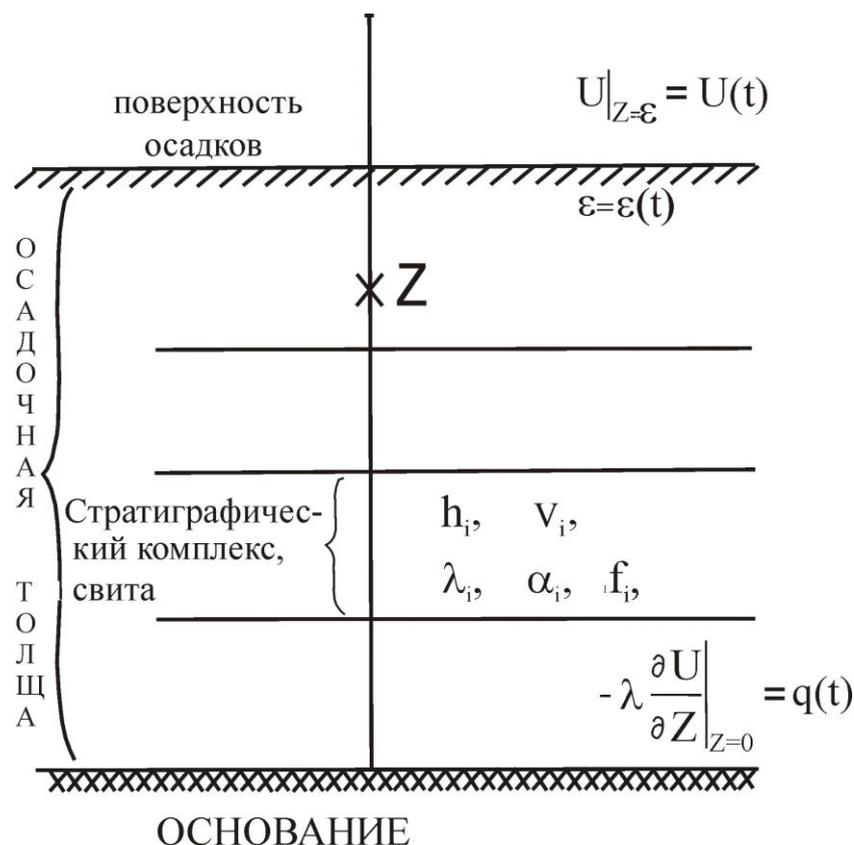


Рис. 2. Схематическое изображение слоистого осадочного разреза при палеотемпературном моделировании [Лобова, Стоцкий, Исаев, 2014]

$\varepsilon = \varepsilon(t)$ – 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; α_i – температуропроводность; f_i – плотность тепловыделения радиоактивных источников.

Скорость осадконакопления v_i может быть нулевой и отрицательной, что позволяет учитывать перерывы осадконакопления и денудацию.

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скв. Лугинецкая 183, определяющая седиментационную и теплофизическую модели (1)–(3), приведена в табл. 3. Стратиграфическая разбивка скважины принята по каталогу литолого-стратиграфических разбивок скважин (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»).

Возраст пород и соответствующие вековые интервалы шкалы геологического времени [Харленд и др., 1985], увязанные с периодами геохронологической шкалы «Стратиграфического кодекса» (1992 г.), определяют время и скорости осадконакопления. Литология и плотность пород, выделенных свит и толщ, приняты по материалам обобщения петрофизических определений керна и сейсмического каротажа, приведенным в диссертационной работе «Гравиразведка в комплексе с геологическим и сейсмическим исследованием Нюрольского прогиба в связи с поисками нефти и газа в палеозойских отложениях» (Богачев С.Ф., 1987).

Таблица 3

**Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скв. 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 <i>Q</i>	25	1,64-0	1,64	2,02	1,27	6,5e-007	1,1e-006
Плиоценовые <i>N₂</i>	-	1,64–4,71	3,07	-	-	-	-
Миоценовые <i>N₁</i>	-	4,71–24,0	19,29	-	-	-	-
Некрасовская <i>nk Pg₃</i>	84	24,0–32,2	8,3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Чеганская + Люлинворская + Талицкая <i>hg ll tl Pg₃₋₁</i>	173	32,2-61,7	29,4	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Славгородская + Ипатовская + Кузнецовская <i>sl ip kz K₂</i>	364	73,2-91,6	29,9	2,15	1,4	7e-007	1,25e-006
Покурская <i>pk K₁₋₂</i>	803	91,6–114,1	22,5	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Алымская <i>a_{1,2} K₁₋₂</i>	-	114,1–120,2	6,1	-	-	-	-
Киялинская <i>kls K₁</i>	550	120,2–132,4	12,2	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Тарская <i>tr K₁</i>	74	132,4–136,1	3,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Куломзинская <i>klm K₁</i>	237	136,1–145,8	9,7	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская <i>bg J₃</i>	16	145,8–151,21	5,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Георгиевская <i>gr J₃</i>	-	151,2–156,6	5,4	-	-	-	-
Васюганская <i>vs J₃₋₂</i>	55	156,6–168,3	11,7	2,42	1,6	8e-007	1,3e-006
Тюменская <i>tm J₂</i>	115	168,3–172,0	3,7	2,46	1,64	8e-007	1,3e-006

Примечание. Заливкой показаны время накопления отложений баженовской свиты и ее параметрическое описание.

Краевое условие (2) определяется палеоклиматом и задается в виде кусочно-линейной функции «местного» векового хода температур на поверхности Земли [Исаев, Рылова, Искоркина, 2014].

В случае стационарности глубинного теплового потока q , решение обратной задачи определяется из условия:

$$\sum_{i=1}^{k_t} (U(Z_i, t, q) - T_i)^2 \xrightarrow{-q} \min \quad (4),$$

где T_i – «наблюдаемые» значения температур в k_t точках на различных глубинах Z_i в моменты времени $t = \tau$. Здесь задача решается в предположении квазипостоянства значения плотности теплового потока из основания, начиная с юрского времени [Ермаков, Скоробогатов, 1986].

Схема расчета палеотемператур отложений баженовской свиты состоит из двух этапов. На первом этапе по распределению «наблюдаемых» температур T_i в скважине рассчитывается тепловой поток q через поверхность основания осадочного чехла, т.е. решается обратная задача геотермии. На втором этапе с известным значением q решаются прямые задачи геотермии – непосредственно рассчитываются температуры U в заданных точках осадочной толщи Z (в отложениях баженовской свиты) в заданные моменты геологического времени t . Таким образом, после расчета значения плотности теплового потока из основания осадочного разреза q , являющегося фундаментальным (базовым) параметром, создается и реализуется возможность расчета геотемператур (путем решения прямых задач) в любой точке геологического разреза скважины, включая интервалы нефтематеринских пород, на любой момент геологического времени.

Для решения обратной задачи геотермии – определения теплового потока из основания q – используем в качестве «наблюдаемых» как измерения пластовых температур ($\tau = 0$), полученные при испытаниях скважин, так и палеотемпературы ($\tau \neq 0$), определенные по отражательной способности витринита.

В табл. 1 приведены пластовые температуры и температуры, определенные по ОСВ, использованные в качестве «наблюдаемых» при решении обратной задачи геотермии (4). Для перехода от ОСВ к соответствующей геотемпературе применяется диаграмма «Линии значений отражательной способности витринита, нанесенные на измененную схему Коннона» [Хант, 1982]. Этот способ перехода от ОСВ к соответствующей геотемпературе обоснован вариативными исследованиями [Isaev, Fomin, 2006].

При отсутствии прямых определений теплопроводности λ_i используем петрофизические зависимости теплопроводности осадков от их плотности σ . Эти

зависимости получены в интервале плотностей 1,5-2,6 г/см³ как для песчаных отложений, так и для алевролито-аргиллитовых толщ [Исаев и др., 2002]. Коэффициенты температуропроводности a_i , плотности тепловыделения радиоактивных источников f_i также определяются литологией стратиграфических комплексов.

Оценка влияния неоплейстоценовой толщи мерзлоты на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала баженских отложений выполняется на основе анализа варибельности результатов следующих четырех вариантов палеотемпературных реконструкций. *Вариант 1* – учет векового хода температур на поверхности Земли, *учет неоплейстоценовой мерзлоты мощностью до 300 м*. *Вариант 2* – учет векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 3* – без учета векового хода температур, без учета мерзлоты. *Вариант 4* – учет векового хода температур, *учет неоплейстоценовой мерзлоты с гипотетической мощностью до 1000 м*.

В *варианте 1* (табл. 4) принята мощность толщи мерзлоты 300 м. 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 с теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [Иванов, Гаврильев, 1965]. 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.

В *варианте 4* взяли мощность мерзлоты в 1000 м, и все выполнялось аналогично первому варианту. 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 21 тыс. лет.

Первым основным **критерием адекватности и предпочтительности результатов** из четырех вариантов выступает лучшая согласованность («невязка») максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная согласованность расчетных геотемператур с «наблюденными» пластовыми.

Таблица 4

**Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скв. Лугинецкая 183
(мощность неоплейстоценовой мерзлоты 300 м)**

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

Примечание. Синей заливкой показаны времена «мгновенного» формирования и «мгновенной» деградации толщи неоплейстоценовой мерзлоты. Коричневой заливкой показано время существования толщи мерзлоты.

В качестве второго основного критерия принята степень согласованности очагов интенсивной генерации УВ, выделяемых по геотемпературному критерию [Бурштейн и др., 1997], с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Балансовая модель процессов нефтегазообразования [Бурштейн и др., 1997] позволяет *по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей* из сапропелевого рассеянного органического вещества (РОВ) баженовских отложений: с 85 °С – вхождение материнских пород в главную зону нефтеобразования (ГЗН). Фундаментальность балансовой модели А.Э. Конторовича и пороговых геотемператур ГЗН подтверждаются общеизвестными результатами современных экспериментальных и теоретических исследований, а также установленной прямой корреляцией *выделенных по замерам пластовых температур* очагов генерации нефтей с размещением залежей, вскрытых бурением на нефтепромыслах Томской области [Лобова и др., 2013а].

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 баженовской свиты рассчитывается **интегральный показатель плотности ресурсов, генерированных нефтей (R)**, по формуле [Лобова, Попов, Фомин, 2013]:

$$R = \sum_{i=1}^n (U_i t_i \cdot 10^{-2}), \quad (5),$$

где U_i – расчетная геотемпература очага генерации нефти (ГЗН), °С; t_i – интервальное время действия очага – нахождения материнских баженовских отложений в ГЗН, млн. лет; количество временных интервалов n определено числом интервалов геологического времени нахождения материнских отложений в ГЗН.

Как следует из формулы (5), расчетное значение плотности генерированных ресурсов (на участке скважины) напрямую зависит от времени нахождения материнской свиты в ГЗН и от геотемператур ГЗН. В данном случае плотность генерированных ресурсов имеет размерность °С·млн. лет. Оценка плотности ресурсов выполняется в условных единицах, что представляется корректным для последующего сопоставления результатов вариантов моделирования одного объекта.

Результаты и их анализ

Решение прямых задач геотермии выполнено на 56-ть ключевых моментов геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты, точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности и «переломным» моментам формирования и деградации неоплейстоценовой мерзлоты

(табл. 5). По геотемпературному критерию ГЗН выделены очаги интенсивной генерации баженовских нефтей.

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (см. табл. 5) показывает следующее. В вариантах 1, 3 и 4 тепловой поток увеличивается на 1,4–2,6–7,1 мВт/м² (на 3–5 - 14%) по отношению к расчетному значению теплового потока *варианта 2* – 52,2 мВт/м². В *вариантах 1 и 4* увеличение расчетной плотности теплового потока q обусловлено увеличением рассеивания тепла через дневную поверхность за счет высокой теплопроводности λ и температуропроводности a мерзлой толщи, присутствующей в модели (1)–(4).

В случае неучета векового хода температур на дневной поверхности (*вариант 3*), расчетный тепловой поток также увеличен – 54,8 мВт/м². Это объясняется фактическим отсутствием в этом варианте соляного источника тепла (2) в модели палеотемпературных реконструкций (1)–(4). В этом случае минимизация функционала (4) – минимизация «невязки» расчетных U и наблюдаемых T геотемператур – «потребовала» большего значения плотности теплового потока из основания q .

Выполнено сопоставление расчетных значений плотности теплового потока q , полученных в *вариантах 1–4*, с экспериментальными данными о плотности теплового потока А.Р. Курчикова, Б.П. Ставицкого и А.Д. Дучкова.

На схеме плотности теплового потока [Курчиков, Ставицкий, 1987] территория нахождения скв. Лугинецкая 183 характеризуется дискретными значениями плотности теплового потока в диапазоне 52–63 мВт/м². На карте теплового потока [Западная Сибирь..., 2000] эта территория оконтуривается изолинией 60 мВт/м². Как следует из табл. 5, расчетные значения плотности теплового потока находятся в диапазоне 52–59 мВт/м². Таким образом, результаты по всем 4-м вариантам не противоречат проведенным *экспериментальным* определениям плотности теплового потока Западно-Сибирского региона.

Анализ термической истории баженовской свиты (см. табл. 5) в разрезе скважины 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) баженовская 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.

Таблица 5

Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скв. Лугинецкая 183

Время, млн. лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли («местный»), °С	Глубина положения баженовской свиты, м	Геотемпературы свиты, °С			
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
0	0	2321	80	81	87	75
0,001	+1	2321	80	81	87	75
0,003	+2	2321	80	81	87	75
0,005	+3	2321	80	81	87	75
0,018	+1	2320	80	81	88	77
0,03	-2	2321	79	81	88	78
0,05	-1	2320	79	81	88	78
0,052	-1	2320	79	81	88	78
0,055	-1	2321	79	81	88	78
0,0565	-2	2320	79	81	88	78
0,07	-4	2319	79	80	88	78
0,09	-1	2319	79	80	87	78
0,11	-4	2319	79	80	87	78
0,13	-1	2319	79	80	87	78
0,15	-4	2318	80	80	87	78
0,19	-9	2318	83	81	87	79
0,21	-6	2317	84	82	87	82
0,222	-7	2317	85	82	87	82
0,225	-8	2317	86	82	87	86
0,235	-10	2317	86	82	87	91
0,2355	-9	2317	86	82	87	94
0,2385	-2	2317	86	83	87	94
0,24	0	2317	86	83	87	95
1,4	+1	2299	86	83	86	94
1,64	+1	2296	86	83	86	95
3,1	+2	2295	88	85	86	96
3,2	+2	2295	89	89	86	97
3,8	+12	2295	95	93	86	104
4,7	+3	2295	88	85	86	96
5,2	-3	2294	89	86	86	97
5,7	+7	2294	92	89	86	101
6,3	+10	2294	94	90	86	102
7	+4	2294	89	86	86	97
20	+15	2294	100	97	86	108
24	+16	2294	101	98	86	110
31,5	+17	2218	98	95	83	107
32,3	+16	2210	97	94	82	105
34	+15	2200	96	93	82	103
37,6	+14	2178	94	91	80	101
41,7	+12	2154	90	87	80	98
42	+11	2158	89	87	80	97
46	+8	2129	86	83	79	93
54,8	+19	2077	95	92	77	102
58	+24	2058	99	96	76	106
61,7	+22	2037	95	92	74	102
73	+15	1899	83	81	69	90
73,2	+16	1897	83	81	68	90
86,5	+22	1735	83	81	62	90
89,8	+22	1694	82	80	61	88
90	+23	1692	82	81	61	88
91,6	+22	1673	79	77	58	85
114,1	+21	870	50	49	29	53
118	+19	869	48	47	29	51
120,2	+19	869	47	47	29	51
132,4	+19	319	29	29	11	30
136,1	+19	245	14	27	8	18
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²			53,6	52,2	54,8	59,3

Примечание, Заливкой показаны температуры ГЗН, коричневой заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, темносерой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Такая динамика термической истории ГФН может иметь существенное значение с точки зрения сингенетичности созревания РОВ материнских отложений, генерации УВ и формирования структурных планов площадей нефтесбора, локальных ловушек.

В вариантах 1 и 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. В случае неучета векового хода температур на дневной поверхности (вариант 3), расчетный тепловой поток q также увеличивается. Но это не приводит к повышению расчетных геотемператур материнских баженовских отложений. Просто происходит компенсация энергетического дефицита, созданного отсутствием соляного источника тепла (2).

В целом, учет палеоклимата (варианты 1, 2 и 4) обуславливает увеличение палеотемпературного максимума в истории материнских баженовских отложений на 12–15–24 °С. Конечно, как будет показано ниже, последнее значение (24 °С) маловероятно для юго-востока Западной Сибири. Тем не менее, полученные результаты вполне согласуются с предположением, высказанным А.Э. Конторовичем [Конторович и др., 2013], о влиянии резкого похолодания климата в конце плиоцена на геотермический режим осадочного чехла.

Сопоставление расчетных и измеренных геотемператур в скважине приведено в табл. 6. Так как измеренные температуры (включая определенные по ОСВ) и расчетные геотемпературы имеют погрешность порядка ± 2 °С, то варианты 3 и 4 решений нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах «невязки» превышают оптимальную [Старостенко, 1978] более чем в 4 раза, а разница с ОСВ (с «максимальным палеотермометром») достигает 11–12 °С. Таким образом, неучет палеоклимата (вариант 3) не позволяет построить достаточно строгую физико-математическую модель геотермического режима нефтематеринской баженоской свиты, вскрытой глубокой скважиной в юго-восточной части Западной Сибири. Так же и гипотетическое предположение о мощности неоплейстоценовой мерзлоты в 1000 м на широтах 57–61° не подтверждается палеотемпературным моделированием.

В случае учета палеоклимата (варианты 1 и 2), как «невязки» решений обратных задач (4), так и сходимость с «максимальным палеотермометром» оптимальны и равноценны. Таким образом, сопоставление измеренных и расчетных геотемператур, позволяет заключить, что по критерию «невязки» результаты вариантов 1 и 2 приемлемы и равноценны. Учет векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты мощностью до 300 м позволяет корректно восстановить термическую историю баженовских отложений.

Таблица 6

Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скв. Лугинецкая 183

Глубина, м	Измеренные («наблюденные») температуры, °С	Способ измерения	Вариант 1, °С		Вариант 2, °С		Вариант 3, °С		Вариант 4, °С	
			Расчетные температуры	Разница						
2200	77	Пластовые	76	-1	78	+1	83	+6	70	-7
2350	84	Пластовые	81	-3	82	-2	89	+5	76	-8
2345	98	По ОСВ	101	+3	99	+1	87	-11	110	+12
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °С			±2		±1		±8		±9	

Примечание. Вариант 1 – учет 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.

Расчет плотности ресурсов, генерированных баженовских нефтей R (табл. 7), дает максимальное значение для приемлемого варианта 1 (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 2 (55 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклима – вековой ход температур. Максимальное значение плотности, генерированных ресурсов, следует из более «богатой» термической истории баженовской свиты в варианте 1 (см. табл. 5).

Таблица 7

Оценка плотности ресурсов, генерированных баженовских нефтей (R), для вариантов учета векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты (скв. Лугинецкая 183)

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, °С
Вариант 1	68	24	61,7–0,222	61,5	101
Вариант 2	55	19	61,7–54,8; 42–3,1	45,8	98
Вариант 3	27	29	24–0	24,0	87
Вариант 4	109	23	91,6–0,21	91,4	110

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

Таким образом, именно *вариант 1*, 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 наибольшее подсчетное количество генерированных нефтей. Наличие в результатах *варианта 1* палеоочагов интенсивной генерации баженовской нефти (см. табл. 5) хорошо объясняет вскрытую скв. Лугинецкая 183 промышленную залежь в верхнеюрских отложениях (см. табл. 1).

Выводы

1. Аналитический обзор проблемы совершенствования подсчета ресурсов УВ юрско-меловых нефтегазовых комплексов Западной Сибири объемно-генетическим методом, основанным на палеореконструкциях геотермического режима материнских отложений, показал актуальность количественной оценки роли палеоклимата, особенно в позднечетвертичное время.

2. Определены три основных палеоклиматических фактора, вероятно существенно влияющих на геотермический режим осадочного разреза, включая нефтематеринские отложения: 1-й фактор – вековой ход температур на поверхности Земли; 2-й фактор – формирование и деградация неоплейстоценовой толщи вечномерзлых пород; 3-й фактор – позднечетвертичные ледниковые покровы.

3. Сформулирована задача и определена методика количественной оценки 2-го фактора палеоклимата в формировании геотермического режима нефтематеринских отложений и реализации их генерационного потенциала.

4. Авторская методика исследований основывается на методе палеотемпературного моделирования, наиболее полно учитывающем многочисленные параметры геотермополя, на многовариантности палеотектонических и палеотемпературных реконструкций, на анализе вариабельности результатов, на оценке соответствия результатов общепринятым критериям оптимальности решения обратной задачи геофизики и основным факторам палеоклимата, а также на степени согласованности расчетных очагов генерации нефтей с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

5. На примере мезозойского-кайнозойского разреза юго-востока Западной Сибири (широты Томской области) установлено, что неучет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских баженовских отложений.

6. Получены результаты, указывающие на необходимость учета мерзлоты мощностью порядка 300 м для корректного восстановления термической истории нефтематеринских отложений на землях юго-востока Западной Сибири.

7. При определении ресурсов УВ объемно-генетическим методом на землях Томской и Новосибирской областей предпочтительно применять «местный» вековой ход температур и толщину мерзлоты мощностью порядка 300 м. Это позволит более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования и не занижать (до 25%) расчетные ресурсы УВ.

Представляется, что результаты проведенных поисковых исследований позволяют более ясно увидеть и сформулировать задачи последующих научных изысканий в интереснейшей области – на стыке нефтегазовой геологии и палеоклиматологии. Вместе с тем, именно междисциплинарный подход может обеспечить создание ресурсоэффективных технологий поисков и разведки УВ.

Автор выражает благодарности д. г.-м. н. А.Н. Фомину, предоставившему данные ОСВ, и аспирантке А.А. Искоркиной, выполнившей компьютерные расчеты.

Литература

Буриштейн 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.

Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный Мир, 2007. – 456 с.

Галушкин Ю.И., Ситар К.А., Куницина А.В. Численное моделирование преобразования органического вещества осадочных горных пород северо-восточного шельфа Сахалина // Океанология. – 2011. – Т. 51. – № 3. – С. 521–531.

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.

Гольберт А.В. Основы региональной палеоклиматологии. – М: Недра, 1987. – 222 с.

Ермаков В.И., Скоробогатов В.А. Тепловое поле и нефтегазоносность молодых плит СССР. – М.: Недра, 1986. – 222 с.

Ерофеев Л.Я., Завидий Т.Ю. Определение поправки за палеоклиматический фактор для коррекции результатов геотермических исследований // Геофизика. – 2010. – № 5. – С. 48–52.

Западная Сибирь / Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 2 / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с.

Иванов Н.С., Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – М.: Наука, 1965. – 74 с.

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.

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.

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.

Исаев В.И., Лобова Г.А., Фомин А.Н. Влияние палеоклимата на геотермический режим баженовских отложений юго-востока Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. - № 3- С. 4-11.

Исаев В.И., Рылова Т.Б., Гумерова (Искоркина) А.А. Палеоклимат Западной Сибири и реализация генерационного потенциала нефтематеринских отложений // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 93-102.

Конторович А.Э., Буриштейн Л.М., Малышев Н.А., Сафронов П.И., Гуськов С.А., Ершов С.В., Казаненков В.А., Ким Н.С., Конторович В.А., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Лившиц В.Р., Поляков А.А., Скворцов М.Б. Историко-геологическое моделирование процессов нефтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря (бассейновое моделирование) // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1179–1226.

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

Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 134 с.

Лобова Г.А., Исаев В.И., Панова А.С., Исаева О.С. Результаты выделения нефтеперспективных зон меловых отложений Нюрольской мегавпадины по геотемпературному критерию // Каротажник. – 2013а. – №. 4. – С. 3-15.

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. – 2013б. – Т. 322. – № 1. – С. 45–50.

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.

Лобова Г.А., Стоцкий В.В., Исаев В.И. Влияние палеоклимата на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала баженовских отложений юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – № 3. – http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2014.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/31_2014

Лопатин Н.В. Концепция нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем как интегрирующее начало в обосновании поисково-разведочных работ // Геоинформатика. – 2006. – № 3. – С. 101–120.

Мальшев Н.А., Обметко В.В., Бородулин А.А. Опыт применения технологии бассейнового моделирования в ОАО «НК-Роснефть» для оценки перспектив нефтегазоносности акваторий и выбора новых направлений геологоразведочных работ // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 14–17.

Прищепина 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

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.

Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. – Киев: Наук. думка, 1978. – 228 с.

Хант Дж. Геохимия и геология нефти и газа. – М.: Мир, 1982. – 704 с.

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.

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.

Шарбатян А.А. Экстремальные оценки в геотермии и геокриологии. – М.: Наука, 1974. – 123 с.

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.

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.

Isaev V.I., Volkova N.A., Nim T.V. Solution of direct invers sedimentation heat-flow problems // Geology of the Pacific Ocean. – 1996. – Vol. 12. – No. 3. – pp. 523–536.

Isaev V.I., Lobova G.A., Osipova E.N. The oil and gas contents of the Lower Jurassic and Achimovka reservoirs of the Nyuroł'ka megadepression // Russian Geology and Geophysics. - 2014. – vol. 55. – pp. 1418–1428.

Isaev V.I., Fomin A.N. Loki of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyuroł'ka megadepression // Russian Geology and Geophysics. – 2006. – Vol. 47. – No. 6. – pp. 734-745.

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.

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.

Isaev V.I.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, isaevvi@tpu.ru

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF PERMAFROST STRATA OF LATE QUATERNARY CLIMATE COOLING ON THE GEOTHERMAL REGIME OF OIL-SOURCE DEPOSITS OF WESTERN SIBERIA

The probable paleoclimatic factors influencing the formation of the geothermal regime of oil source deposits are determined: 1) secular variation of temperature on the surface of the Earth; 2) the formation and degradation of neopleistocene strata of permafrost rocks; 3) Late Quaternary ice caps. The purpose of research is quantitative assessment of the impact of frost on the geothermal regime and the implementation of the generation potential of Bazhenov sediments in the southeast of Western Siberia (latitude of Tomsk region). The author's method of research based on the method of paleotemperature modeling is applied - solving the inverse and direct issues of geothermy under a sedimentation conditions. It was established that the account of permafrost with thickness of about 300 m is required for adequate recovery of the thermal history of oil source deposits on south-eastern areas of Western Siberia. This will enable to properly take into account the history of the main phase of oil generation and not to underestimate (up to 25%) the hydrocarbon resources.

Keywords: *geothermal regime of Bazhenov sediments, neopleistocene permafrost, paleotemperature modeling, hydrocarbon resources, south-east of Western Siberia.*

References

Burshteyn L.M., Zhidkova L.V., Kontorovich A.E., Melenevskiy V.N. *Model' katageneza organicheskogo veshchestva (na primere bazhenovskoy svity)* [Model of katagenesis of organic matter (by example of Bazhenov suite)]. *Geologiya i geofizika*, 1997, vol. 38, no. 6, p. 1070–1078.

El'ger Yu.S. *K voprosu o granitsakh pokrovnogo chetvertichnogo oledeneniya v predelakh Zapadnoy Sibiri i Kazakhstana* [On the question of the limits of the cover within the Quaternary glaciation in Western Siberia and Kazakhstan]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2015, no. , p. 30- 33.

Ermakov V.I., Skorobogatov V.A. *Teplovoe pole i neftegazonosnost' molodykh plit SSSR* [Thermal field and oil and gas potential of young planes of Soviet Union]. Moscow: Nedra, 1986, 222 p.

Erofeev L.Ya., Zavidiy T.Yu. *Opreделение поправки за paleoklimaticheskiy faktor dlya korrektsii rezul'tatov geotermicheskikh issledovaniy* [Determination of correction for paleoclimatic factor for correcting the results of geothermal studies]. *Geofizika*, 2010, no. 5, p. 48–52.

Galushkin Yu.I. *Modelirovanie osadochnykh basseynov i otsenka ikh neftegazonosnosti* [Modelling of sedimentary basins and assessment of their oil and gas potential]. Moscow: Nauchnyy Mir, 2007, 456 p.

Galushkin Yu.I., Sitar K.A., Kunitsina A.V. *Chislennoe modelirovanie preobrazovaniya organicheskogo veshchestva osadochnykh gornykh porod severo-vostochnogo shel'fa Sakhalina* [Numerical simulation of the transformation of organic matter of sedimentary rocks of the northeastern shelf of Sakhalin]. *Okeanologiya*, 2011, vol. 1, no. 3, p. 521–531.

Gol'bert A.V. *Osnovy regional'noy paleoklimatologii* [Basics of regional paleoclimatology]. Moscow: Nedra, 1987, 222 p.

Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu., Tagirova Ch.D. *Metodika rascheta glubinnykh temperatur s uchetom ispravlenykh na vliyanie paleoklimata znacheniy teplovogo potoka* [Method of calculation of deep temperatures considering the values of the heat flow corrected by the paleoclimate impact]. *Geologiya i geofizika*, 2014, vol. 55, no. 9, p. 1426–1435.

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, p. 273–287.

Isaev V.I., Fomin A.N. Loki of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyuroĭka megadepression. *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 6, p. 734-745.

Isaev V.I., Gulenok R.Yu., Veselov O.V., Bychkov A.V., Soloveychik Yu.G. *Komp'yuternaya tekhnologiya kompleksnoy otsenki neftegazovogo potentsiala osadochnykh basseynov* [Computer technology of integrated assessment of oil and gas potential of sedimentary basins]. *Geologiya nefti i gaza*, 2002, no. 6, p. 48–54.

Isaev V.I., Iskorkina A.A. *Mezozoysko-kaynozoykskiy khod temperatur na poverkhnosti Zemli i geotermicheskiy rezhim yurskikh neftematerinskikh otlozheniy (yuzhnaya paleoklimaticheskaya zona Zapadnoy Sibiri)* [Mesozoic-Cenozoic variation of temperature on the surface of the Earth and geothermal regime of Jurassic oil source deposits (South paleoclimatic area of Western Siberia)]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2014, vol. 36, no. 5, p. 64–80.

Isaev V.I., Lobova G.A., Fomin A.N. *Vliyanie paleoklimata na geotermicheskiy rezhim bazhenovskikh otlozheniy yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [Impact of paleoclimate on the geothermal regime of Bazhenov sediments, southeast of Western Siberia]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2015, no. 3, p. 4-11.

Isaev V.I., Lobova G.A., Osipova E.N. The oil and gas contents of the Lower Jurassic and Achimovka reservoirs of the Nyuroĭka megadepression. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, p. 1418–1428.

Isaev V.I., Lobova G.A., Royak M.E., Fomin A.N. *Neftegazonosnost' tsentral'noy chasti Yugorskogo svoda* [Oil and gas potential of central part of Yugorsky arc]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2009, vol. 31, no. 2, p. 15–46.

Isaev V.I., Rylova T.B., Gumerova (Iskorkina) A.A. *Paleoklimat Zapadnoy Sibiri i realizatsiya generatsionnogo potentsiala neftematerinskikh otlozheniy* [Paleoclimate of Western Siberia and implementation of generation potential of oil source deposits]. *Izvestiya TPU*, 2014, vol. 324, no. 1, p. 93-102.

Isaev V.I., Volkova N.A., Nim T.V. Solution of direct invers sedimentation heat-flow problems. *Geology of the Pacific Ocean*, 1996. vol. 12, no. 3, p. 523–536.

Ivanov N.S., Gavril'ev R.I. *Teplofizicheskie svoystva merzlykh gornyykh porod* [Thermal properties of frozen rocks]. Moscow: Nauka, 1965, 74 p.

Khant Dzh. *Geokhimiya i geologiya nefti i gaza* [Geochemistry and geology of oil and gas]. Moscow: Mir, 1982, 704 p.

Kharlend U.B., Koks A.V., Llevellin P.G., Pikton K.A.G., Smit A.G., Uolters R. *Shkala geologicheskogo vremeni* [Scale of geological time]. Moscow: Mir, 1985, 140 p.

Khutorskoy M.D., Akhmedzyanov V.R., Ermakov A.V., Leonov Yu.G., Podgornyykh L.V., Polyak B.G., Sukhikh E.A., Tsybulya L.A. *Geotermya arkticheskikh morey* [Geothermal Arctic seas]. Editors Yu.G. Leonov. Moscow: GEOS, 2013, 232 p.

Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Malyshev N.A., Safronov P.I., Gus'kov S.A., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Kim N.S., Kontorovich V.A., Kostyreva E.A., Melenevskiy V.N., Livshits V.R., Polyakov A.A., Skvortsov M.B. *Istoriko-geologicheskoe modelirovanie protsessov naftidogeneza v mezozoysko-kaynozoykskom osadochnom basseyne Karskogo morya (basseynovoe modelirovanie)* [Historical and geological modeling of naphtides genesis in Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin of the Kara Sea (basin modeling)]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol. 54, no. 8, p. 1179–1226.

Kontorovich V.A. *Tektonika i neftegazonosnost' mezozoysko-kaynozoykskikh otlozheniy yugovostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Tectonics and petroleum potential of the Mesozoic-Cenozoic deposits in southeastern Western Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002, 253 p.

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, p. 63–85.

Kurchikov A.R., Stavitskiy B.P. *Geotermya neftegazonosnykh oblastey Zapadnoy Sibiri* [Geothermal oil and gas areas of Western Siberia]. Moscow: Nedra, 1987, 134 p.

Lobova G.A., Isaev V.I., Panova A.S., Isaeva O.S. *Rezultaty vydeleniya nefteperspektivnykh zon melovykh otlozheniy Nyurol'skoy megavpadiny po geotemperaturnomu kriteriyu* [The results of distinguishing oil-prospecting areas of Cretaceous deposits of Nurol megatrough using geothermal criterion]. *Karotazhnik*, 2013, no. 4, p. 3-15.

Lobova G.A., Osipova E.N., Krinitsina K.A., Ostankova Yu.G. *Vliyanie paleoklimata na geotermicheskiy rezhim i neftegeneratsionnyy potentsial bazhenovskoy svity (na shirotakh Tomskoy oblasti)* [Impact of paleoclimate on the geothermal mode and oil-generation potential of Bazhenov Formation (latitudes of Tomsk region)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2013, vol. 322, no. 1, p. 45–50.

Lobova G.A., Popov S.A., Fomin A.N. *Lokalizatsiya prognoznykh resursov nefli yursko-melovykh NGK Ust'-Tym'skoy megavpadiny* [Localization of inferred oil resources of the Jurassic-Cretaceous oil and gas complex, Ust-Tym megadepression]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2013, no. 2, p. 36–40.

Lobova G.A., Stotskiy V.V., Isaev V.I. *Vliyanie paleoklimata na geotermicheskiy rezhim i realizatsiyu neftegeneratsionnogo potentsiala bazhenovskikh otlozheniy yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri (Novosibirskaya oblast')* [Impact of paleoclimate on the geothermal mode and implementation of oil-generation potential of Bazhenov sediments, southeast of Western Siberia (Novosibirsk region)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2014, vol. 9, no. 3, available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2014.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/31_2014

Lopatin N.V. *Kontseptsiya neftegazovykh generatsionno-akkumulyatsionnykh sistem kak integriruyushchee nachalo v obosnovanii poiskovo-razvedochnykh rabot* [The concept of oil and gas generation-accumulative systems as integrating principle in justification of exploration]. *Geoinformatika*, 2006, no. 3, p. 101–120.

Malyshev N.A., Obmetko V.V., Borodulin A.A. *Opyt primeneniya tekhnologii basseynovogo modelirovaniya v OAO «NK-Rosneft'» dlya otsenki perspektiv neftegazonosnosti akvatoriy i vybora novykh napravleniy geologorazvedochnykh rabot* [Experience of basin modeling technology in JSC "NK Rosneft" to assess oil and gas potential of offshore areas and the selection of new areas of prospecting]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2012, no. 11, p. 14–17.

Prishepa O.M. *Kompleksnyy sposob kolichestvennoy otsenki resursov nefli i gaza v zonakh neftegazonakopleniya* [Comprehensive way to quantify the oil and gas resources in the areas of oil and gas accumulation]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2011, vol. 6, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/6/44_2011.pdf

Safronov P.I., Ershov S.V., Kim N.S., Fomin A.N. *Modelirovanie protsessov generatsii, migratsii i akkumulyatsii uglevodorodov v yurskikh i melovykh kompleksakh Enisey-Khatangskogo basseyna* [Modelling of processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbons in the Jurassic and Cretaceous complexes of the Yenisei-Khatanga Basin]. *Geologiya nefli i gaza*, 2011, no. 5, p. 48–55.

Sharbatyan A.A. *Ekstremal'nye otsenki v geotermii i geokriologii* [Extreme evaluation of geothermy and permafrost]. Moscow: Nauka, 1974, 123 p.

Starostenko V.I. *Ustoychivye chislennye metody v zadachakh gravimetrii* [Stable numerical methods in problems of gravity]. Kiev: Nauk. dumka, 1978, 228 p.

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, p. 829–843.

Zapadnaya Sibir' / Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. V shesti tomakh. T. 2 [Western Siberia / Geology and Mineral Resources of Russia. In the six volumes. Vol. 2]. Editors A.E. Kontorovich, V.S. Surkov. Saint Petersburg, VSEGEI, 2000, 477 p.