

Мезозойско-кайнозойский ход температур на поверхности Земли и геотермический режим юрских нефтематеринских отложений (южная палеоклиматическая зона Западной Сибири)

© В. И. Исаев, А. А. Искоркина, 2014

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия

Поступила 13 марта 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

В огляді стан досліджень впливу вікового ходу температур на поверхні Землі на термічну історію глибокозанурених нафтоматеринських відкладів охарактеризовано як стан наукового пошуку. Узагальнено відомі дані щодо мезозойсько-кайнозойського клімату південно-східної частини Західного Сибіру і оцінено вплив вікового ходу температур земної поверхні на геотермічний режим, ступінь реалізації нафтогенераційного потенціалу материнських юрських баженовської і тогурської світ. "Місцевий" віковий хід температур земної поверхні для південної палеокліматичної зони Західного Сибіру побудовано на підставі аналітичного зведення результатів палеокліматичних реконструкцій юрського, крейдяного, палеогенового, неогенового і четвертинного періодів, опублікованих різними авторами в період 1974—2011 рр. Вплив палеоклімату на термічну історію материнських відкладів оцінено на основі верифікації результатів палеотемпературного моделювання осадових розрізів глибоких свердловин, що розкрили баженовську і тогурську світи в Нюрольській мегазападині. Встановлено, що реконструкції термічної історії материнських відкладів без урахування палеоклімату не узгоджуються з "реперними" даними відбивної здатності вітриніту і встановленої нафтогазоносності розрізу. Використання при реконструкціях "місцевого" вікового ходу температур земної поверхні дає змогу істотно уточнити показник щільності прогнозних ресурсів нафти. "Місцевий" віковий хід рекомендується враховувати під час визначення ресурсів вуглеводнів об'ємно-генетичним методом на землях Томської, Ново-сібірської та Омської областей.

Ключові слова: віковий хід температур, геотермічний режим материнських відкладів, щільність ресурсів нафти, південний схід Західного Сибіру.

Введение. По оценкам экспертов за последние несколько лет снижение добычи нефти в Западной Сибири составило порядка 2%. Вместе с тем Западная Сибирь и в долгосрочной перспективе остается основным нефтедобывающим регионом России. Это предопределяет актуальность исследований по проблеме эффективных методов и технологий воспроизводства базы углеводородного сырья Западно-Сибирского региона.

Современные определения ресурсов углеводородов выполняются объемно-генетическим методом (бассейновое моделирование) на осно-

ве реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений. За последние годы накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние векового хода температур земной поверхности (палеоклимата) на термическую историю глубокопогруженных нефтематеринских отложений, а следовательно, и на степень реализации их нефтегенерационного потенциала.

В некоторых работах при реконструкции температурного режима нефтематеринских отложений осадочных бассейнов континентальной части и шельфа РФ вековой ход температур зем-

ной поверхности не учитывается [Сафронов и др., 2011; Грецкая, Литвинова, 2011; Малышев и др., 2012]. При палеотемпературном моделировании разрезов глубоких скважин, расположенных на юго-востоке Западной Сибири, влияние резкого похолодания в плейстоцене—голоцене на геотермический режим материнских пород было оценено как маловероятное [Исаев, Фомин, 2006].

Во то же время в работах [Ерофеев, Завидий, 2010; Голованова и др., 2012] отмечено осложнение регионального теплового поля Урала и Сибири, вызванное особенностями климатической истории, что рекомендуется учитывать при характеристике температурного режима недр конкретных территорий. На основе многовариантного палеотемпературного моделирования осадочных разрезов глубоких скважин на территории Томской области Г. А. Лобовой с соавторами установлено существенное влияние векового хода температур на поверхности Земли на термическую историю и реализацию генерационного потенциала баженовской свиты [Лобова и др., 2013 а].

Некоторые ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций, учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [Лопатин, 2006; Галушкин, 2007; Попов, Исаев, 2011 и др.]. Этот вековой ход температур можно условно назвать "стандартным", так как он применяется единообразно для разных региональных палеоклиматических зон Сибири [Гольберт, 1987].

Известные программно-математические комплексы бассейнового моделирования Genex Temis (Weicp Franlab), применяемые для определения ресурсов углеводородов Приенисейской и Арктической областей Западной Сибири, не учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [Сафронов и др., 2011; Конторович и др., 2013]. Эти комплексы не позволяют количественно моделировать глобальные климатические события, приводящие к существенному изменению геотемпературного поля во всем осадочном чехле (по некоторым оценкам до 15—20 °С). Поэтому этот вопрос требует специального рассмотрения [Конторович и др., 2013].

Таким образом, современное состояние проблемы теоретического обоснования и экспериментальной оценки влияния мезозойско-кайнозойского климата на реализацию генерационного потенциала нефтематеринских отложений Западной Сибири можно охарактеризовать как состояние научного поиска.

Постановка задачи и методика исследований. Цель исследований — обобщить известные данные о мезозойско-кайнозойском климате южной региональной палеоклиматической зоны Западной Сибири (Томская, Новосибирская и Омская области) и оценить влияние векового хода температур поверхности Земли на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала юрских нефтематеринских свит. Обобщенный вековой ход температур региональной палеоклиматической зоны условно назовем "местным".

"Местный" вековой ход температур земной поверхности строится на основе аналитической сводки позднечетвертичных палеоклиматических реконструкций для Западно-Сибирской низменности А. А. Шарбатяна [Шарбатян, 1974], результатов реконструкции климатических условий мезозоя юга Западной Сибири Н. А. Ясаманова [Ясаманов, 1985], результатов реконструкции палеоклиматов Сибири в меловом и палеогеновом периодах, по А. В. Гольберту с соавторами [Гольберт и др., 1977], истории климата Западной Сибири, начиная с позднего миоцена, по В. А. Зубакову [Зубаков, 1990], установленных В. С. Волковой трендов среднегодовых температур в палеогене и неогене Западной Сибири [Волкова, 2011].

Оценка влияния палеоклимата на термическую историю материнских отложений проводится на основе *верификации* результатов трех основных вариантов моделирования, выполненных для разрезов глубоких скважин в программно-математическом комплексе палеотектонических реконструкций и палеотемпературного моделирования [Исаев, Старостенко, 2004; Gulenok et al., 2011]. В первом варианте палеоклимат не учитывается, во втором — палеоклимат учитывается по "местному" вековому ходу температур, полученному для южно-сибирской палеоклиматической зоны, в третьем — палеоклимат учитывается по "стандартному" вековому ходу температур, принятому при моделировании термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций России.

Используемый программно-математический комплекс включает решение прямых и обратных задач нестационарной геотермии в условиях седиментации. *Первое краевое условие модели определяется температурой поверхности осадконакопления и задается в виде кусочно-линейной функции векового хода температур поверхности Земли, т. е. реализуется учет палеоклимата.*

Для решения обратной задачи геотермии — определения теплового потока из основания — используются как измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин, так и палеотемпературы, рассчитанные по отражательной способности витринита (ОСВ) с указанием времени срабатывания "максимального палеотермометра" [Исаев и др., 2009]. Способ перехода от ОСВ к соответствующей геотемпературе предложен и приведен в работе [Исаев, Фомин, 2006].

Для количественного анализа вариативности сценариев термической истории материнских отложений для каждого варианта рассчитывается условный интегральный показатель относительной плотности ресурсов генерированных нефтей R по формуле [Лобова и др., 2013 б]

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

где U_i — расчетная температура очага генерации нефти в i -м интервале геологического времени, °С; t_i — время действия очага в i -м интервале, млн лет; n — количество расчетных временных интервалов $i = 1, \dots, n$.

Критерием предпочтительности одного из вариантов палеотемпературного моделирования выступает лучшая согласованность максимума расчетных температур геотермического режима с "реперными" температурами, определенными по ОСВ. Важна согласованность наличия и времени "работы" очагов интенсивной генерации нефтей с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Характеристика объекта исследований.

На юго-востоке Западной Сибири нефтепромыслы сосредоточены главным образом в Нюрольской мегавпадине и на структурах ее обрамления. Основным источником формирования залежей углеводородов (УВ) в ловушках верхнеюрского и мелового нефтегазоносных комплексов (НГК) — нефтематеринские отложения баженовской свиты ($J_3 v$). 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 средненижнеюрского и палеозойского НГК основной генерирующей толщей является тогурская нефтематеринская свита ($J_1 t_1$). Ее распространение в Нюрольской мегавпадине ограничивается пониженными формами релье-

фа. 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 [Фомин, 2011].

Моделирование геотермического режима нефтематеринских отложений выполнено для осадочных разрезов двух глубоких скважин (рис. 1): Северо-Фестивальная 1 (северо-восточный борт Нюрольской мегавпадины) и Лугинецкая 183 (Пудинское мезоподнятия). В табл. 1 приведены характеристики разрезов этих скважин.

На Лугинецком месторождении залежи УВ связаны в основном с верхнеюрскими коллекторами (горизонт $Ю_1$), на Северо-Фестивальном месторождении — в основном со средненижнеюрскими (пласты $Ю_{13-16}$).

Построение "местного" векового хода температур на поверхности Земли (южная климатическая зона Западной Сибири). А.А. Шарбатьяном исследовалась возможность образования многолетнемерзлых пород в четвертичное время. При моделировании для района 61° с. ш. (участок широтного течения Оби) на расчетный промежуток 245 тыс. лет назад 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. Осредненные значения векового хода температур на широте 61° приведены в табл. 2, временной интервал отнесения значений — 0,02 млн лет.

В.А. Зубаковым 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, временные интервалы отнесения — 0,4 млн лет и меньше.

В.С. Волковой использован палинологический материал по скважинам и разрезам западной и средней части Западной Сибири, выпол-

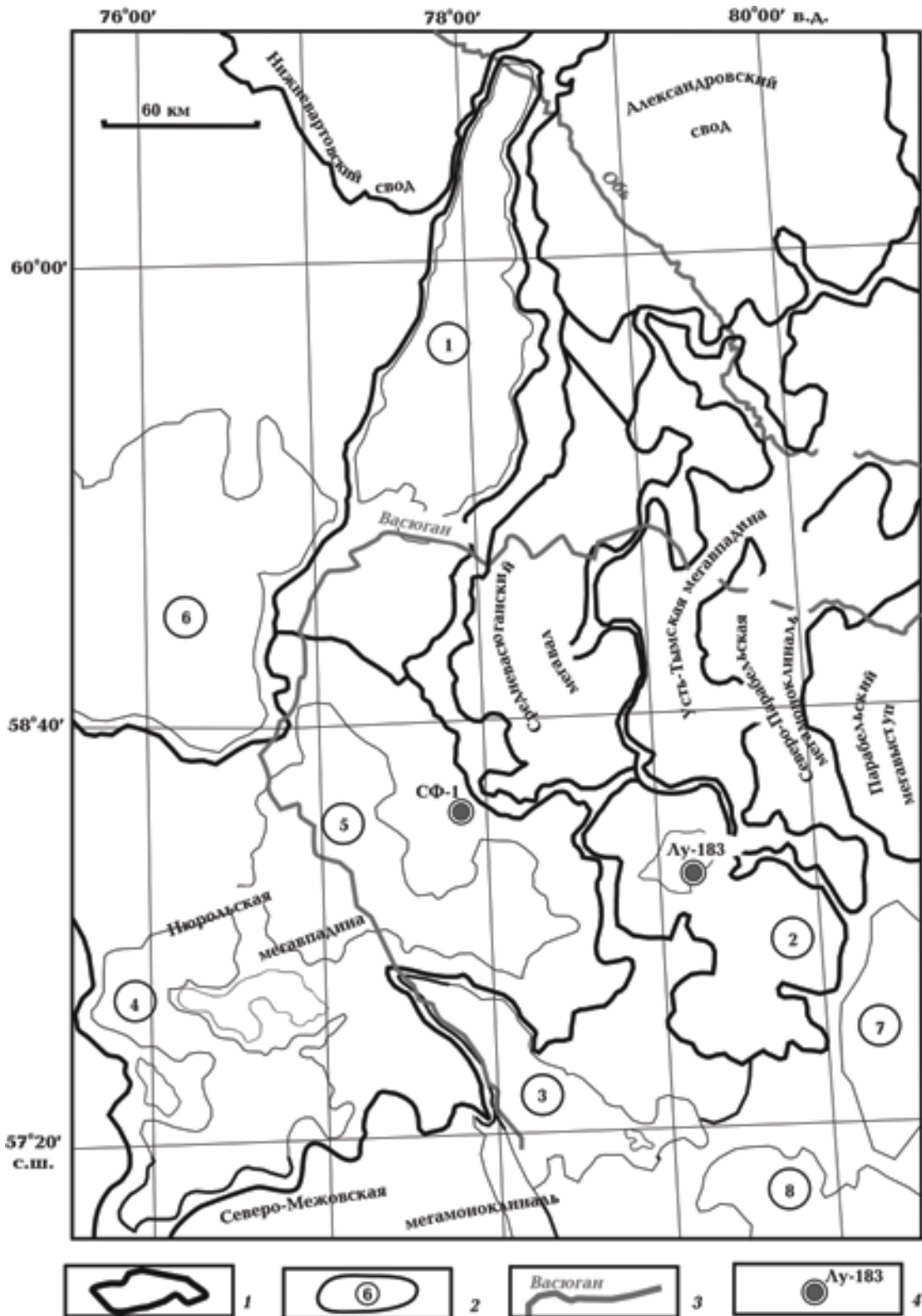


Рис. 1. Обзорная схема территории исследований, по [Конторович, 2002]: 1 — структуры I порядка, 2 — структуры II порядка (1 — Колтогорский мезопрогиб, 2 — Пудинское мезоподнятие, 3 — Лавровский мезовыступ, 4 — Южно-Нюрольская мезовпадина, 5 — Центрально-Нюрольская мезовпадина, 6 — Нововасюганский мезовал, 7 — Горелоярское мезоподнятие, 8 — Калгачский мезовыступ), 3 — реки, 4 — исследуемые скважины (Лу-183 — Лугинецкая 183, СФ-1 — Северо-Фестивальная 1).

Т а б л и ц а 1. Характеристики разрезов скв. Лугинецкая 183 и Северо-Фестивальная 1

Характеристики	Лугинецкая 183	Северо-Фестивальная 1
Забой, м	2 500	3 270
Отложения на забое (свита)	Средняя юра (тюменская)	Палеозой (PZ)
Кровля тогурской свиты, м	—	3 165
Мощность тогурской свиты, м	—	30
Кровля баженовской свиты, м	2 313	2 708
Мощность баженовской свиты, м	16	23
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
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; пластовая температура)	Куломзинская; 2 200 м; 77 °С Тюменская; 2 350 м; 84 °С	Тюменская; 3 130 м; 118 °С Тюменская; 3 145 м; 123 °С
«Измеренные» температуры по ОСВ (свита; глубина отбора; температура)	Васюганская; 2 345 м; 98 °С	Тюменская; 3 232 м; 124 °С

Т а б л и ц а 2. Определения среднегодовых температур в мезозое и кайнозое южной климатической зоны Западной Сибири (северные широты 57—61°)

Время, млн лет назад	Температуры на поверхности Земли, °С	Публикации
0	0	[Шарбатян, 1974]
0,005	+ 3	
0,030	- 2	
0,050	- 1	
0,070	- 4	
0,090	- 1	
0,110	- 4	
0,130	- 1	
0,148	- 4	
0,163	- 5	
0,190	- 9	
0,210	- 6	
0,235	- 10	
0,240	0	

Время, млн лет назад	Температуры на поверхности Земли, °С	Публикации
2,2	+ 3	[Зубаков, 1990]
2,4	0	
3,1	+ 2	
3,2	+ 2	
3,8	+ 14	[Волкова, 2011]
3,9	+ 8	[Зубаков, 1990]
4,8	+ 5	[Волкова, 2011]
5,2	- 3	[Зубаков, 1990]
5,7	+ 7	
6,3	+ 10	
7,0	+ 4	
11,5	+ 6	[Волкова, 2011]
14	+ 7	
20	+ 15	
32	+ 13	
33	+ 18	[Ясаманов, 1985]
34	+ 15	[Волкова, 2011]
42	+ 11	
46	+ 8	[Гольберт и др., 1977]
48	+ 17	
50	+ 15	
55	+ 17	
58	+ 24	[Волкова, 2011]
62	+ 20	
64	+ 26	[Ясаманов, 1985]
65	+ 17	[Волкова, 2011]
73	+ 15	[Гольберт и др., 1977]
89	+ 17	
90	+ 26	[Ясаманов, 1985]
115	+ 17	
120	+ 18	[Гольберт и др., 1977]
178	+ 19	[Ясаманов, 1985]
202	+ 19	

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

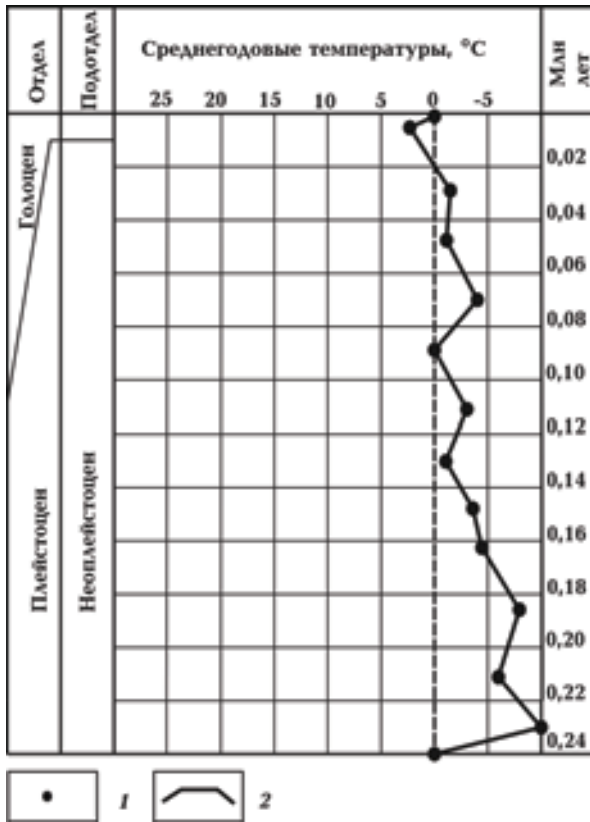


Рис. 2. Вековой ход температуры на поверхности Земли в неоплейстоцене и голоцене: 1 — значения по А.А. Шарботяну (см. табл. 2); 2 — кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур.

нен анализ температур ареалов основных родов флоры, для оценки палеотемператур использован метод построения климатограмм В.П. Гринчука. Построены "тренды" изменения среднезимних, среднелетних и среднегодовых температур в палеогене и неогене. В табл. 2 приведены температуры, соответствующие дискретным определениям значений среднегодовых температур палеогена и неогена Западной Сибири, временные интервалы отнесения от 0,5 до 5 млн лет.

Н. А. Ясаманов 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 палеотермометрии (по кислороду органических карбонатов) и магнезиальный метод палеотермометрии (по отношению кальция к магнию в органическом кальците). В табл. 2 приведены осредненные определения палеотемпе-

ратур с раннеюрской эпохи до середины олигоцена для южной зоны Западной Сибири, временные интервалы отнесения определений от 5 до 17 млн лет.

А.В. Гольберт с соавторами 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 магнезиальной палеотермометрии, а также данные палеоботаники и климатической интерпретации геологических формаций. В табл. 2 приведены среднегодовые температуры для сибирской южной подзоны с раннемеловой эпохи до эоценовой, временные интервалы отнесения температур от 5 до 15 млн лет.

Для юго-восточной части Западной Сибири на рис. 2 изображен ход среднегодовых температур верхнего неоплейстоцена и голоцена, на рис. 3 — ход среднегодовых температур верхнего миоцена и плиоцена, на рис. 4 — ход среднегодовых температур юры, мела, палеогена и миоцена. Так построен "местный" вековой ход температур на поверхности Земли, начиная с юрского времени — времени осадконакопления тогурской и баженовской нефтематеринских свит.



Рис. 3. Вековой ход температуры на поверхности Земли в верхнем миоцене и плиоцене: 1 — значения по А.А. Шарботяну (см. табл. 2); 2 — значения по В.А. Зубакову (см. табл. 2); 3 — значения по В.С. Волковой (см. табл. 2); 4 — кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур.

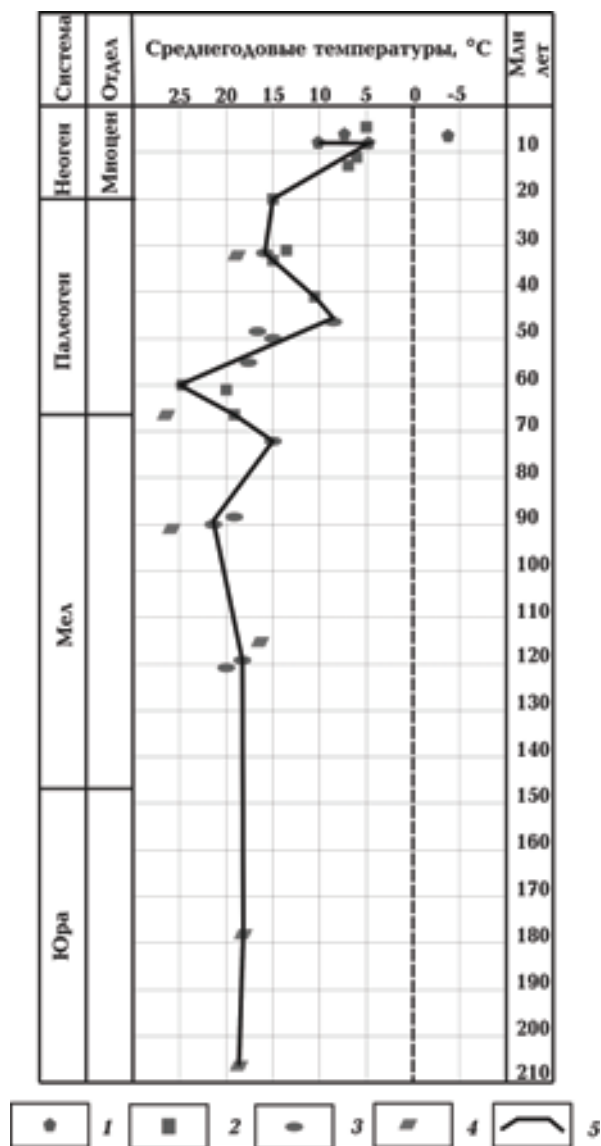


Рис. 4. Вековой ход температуры на поверхности Земли в юре, меле, палеогене и миоцене: 1 — значения по В. А. Зубакову (см. табл. 2); 2 — значения по В. С. Волковой (см. табл. 2); 3 — значения по А. В. Гольберту и др. (см. табл. 2); 4 — значения по Н. А. Ясаманову (см. табл. 2); 5 — кусочно-линейная аппроксимация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

Реконструкции и анализ термической истории баженовской свиты. Восстановление термической истории отложений баженовской свиты ($J_3 v$) выполнено на основе палеотектонических реконструкций и палеотемпературного моделирования. Второе крайнее условие модели определено квазипостоянством значения плотности теплового потока из основания, начиная с юрского времени [Ермаков, Скоробогатов, 1896].

Схема расчета палеотемператур состоит из двух этапов. На первом этапе по распределению измеренных температур в скважине решается обратная задача геотермии — рассчитывается плотность теплового потока через поверхность подстилающего основания. На втором этапе с известным значением теплового потока решаются прямые задачи геотермии — непосредственно рассчитываются геотемпературы в заданных точках осадочной толщи (баженовская свита) в заданные моменты геологического времени.

Расчеты геотемператур выполнены для 46 ключевых моментов геологического времени, для четырех сценариев учета палеоклимата (табл. 3 и 4). Заданные моменты геологического времени соответствуют временам "переломных" значений среднегодовых температур (см. рис. 2—4) и временам начала/завершения формирования каждой свиты осадочной толщи, перекрывающей отложения баженовской свиты. По геотемпературному критерию [Бурштейн и др., 1997] выделены очаги интенсивной генерации баженовских нефтей. Пороговая температура очагов генерации нефти баженовской свитой принята 85°C , так как РОВ в этих отложениях сапропелевого типа.

Анализ полученных расчетных геотемператур (см. табл. 3) показывает, что без учета палеоклимата, но с использованием в качестве измеренных и температуры по ОСВ, геотермические условия для интенсивной генерации нефти из РОВ баженовской свиты могли наступить 32 млн лет назад после формирования чеганской свиты $Pg_{3-2} hq$. Однако такой сценарий (вариант) термической истории неприемлем, так как расхождение расчетных геотемператур и "реперных" по ОСВ слишком велико (см. табл. 4).

Если при палеотемпературном моделировании без учета палеоклимата данные ОСВ проигнорировать (как возможно недостоверные), то в таком варианте геотермические условия для интенсивной генерации нефти из РОВ баженовской свиты не наступают. Однако в этом случае (без существования палеоочагов генерации нефти в модели) нельзя объяснить наличие залежи нефти в верхнеюрских отложениях (см. табл. 1). И такой вариант термической истории приходится исключить как неадекватный "реперу" по ОСВ и установленной продуктивности разреза.

Варианты палеотемпературного моделирования с учетом палеоклимата как по "местному" ходу температур на поверхности Земли,

Т а б л и ц а 3. Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скв. Лугинская 183

Время, млн лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли, °С		Глубина положения баже- новской свиты, м	Геотемпературы баженовской свиты, °С			
	«местный»	«стандарт- ный»		без учета палео- климата	без учета палео- климата (без учета данных ОСВ)	с учетом палео- климата («местный» ход темпе- ратур)	с учетом палео- климата («стандарт- ный» ход температур)
0	0	+2	2 321	89	82	84	83
0,005	+3	+2	2 320	89	82	84	83
0,03	-2	+2	2 320	89	82	83	83
0,05	-1	+2	2 320	89	82	83	83
0,07	-4	+2	2 319	89	82	83	84
0,09	-1	+2	2 319	89	82	84	83
0,11	-4	+2	2 319	89	82	83	83
0,13	-1	+2	2 319	89	82	83	83
0,15	-4	+2	2 318	89	82	83	83
0,19	-9	+2	2 318	89	82	84	83
0,21	-6	+2	2 317	88	82	84	83
0,235	-10	+2	2 317	88	82	84	83
0,24	0	+2	2 317	88	82	85	83
1,64	+1	+2	2 296	88	82	86	84
3,1	+2	+2	2 295	88	81	87	85
3,2	+2	+2	2 295	88	81	88	86
3,8	+12	+5	2 295	87	81	86	87
4,7	+3	+4	2 295	87	81	86	83
5,2	-3	+4	2 294	87	81	85	82
5,7	+7	+4	2 294	87	81	92	83
6,3	+10	+4	2 294	87	81	93	83
7	+4	+4	2 294	88	81	89	84
20	+15	+7	2 294	88	81	99	87
24	+16	+8	2 294	88	81	99	85
31,5	+17	+9	2 218	85	78	98	87
32,3	+16	+10	2 210	84	77	97	87
34	+15	+12	2 200	84	77	96	87
37,6	+14	+15	2 178	82	76	93	95
41,7	+12	+19	2 154	82	75	90	95
42	+11	+20	2 152	81	75	89	95

46	+ 8	+ 21	2 129	81	74	84	94
54,8	+ 19	+ 21	2 077	79	72	96	92
58	+ 24	+ 20	2 058	78	72	98	91
61,7	+ 22	+ 20	2 037	76	70	95	89
73	+ 15	+ 20	1 899	71	65	83	83
73,2	+ 16	+ 20	1 897	70	65	83	83
86,5	+ 22	+ 20	1 735	64	59	83	78
89,8	+ 22	+ 20	1 694	62	57	83	77
90	+ 23	+ 20	1 692	62	57	83	77
91,6	+ 22	+ 20	1 673	59	55	80	74
114,1	+ 21	+ 20	870	31	28	49	49
118	+ 19	+ 20	869	30	28	48	49
120,2	+ 19	+ 20	869	29	28	48	49
132,4	+ 19	+ 20	319	11	10	30	32
136,1	+ 19	+ 20	245	9	8	27	30
145,8	+ 19	+ 20	8	0,3	0,3	19	23
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²				55,8	51,2	53,8	50,7

Примечание: времена палеотемпературных максимумов в баженовской свите обозначены светло-серой заливкой, темно-серой заливкой — температуры главной зоны нефтеобразования.

так и по "стандартному" ходу, вполне адекватны и измеренным пластовым температурам, и температуре, соответствующей ОСВ (см. табл. 4). Наличие палеоочагов интенсивной ге-

нерации нефти объясняет вскрытую залежь в верхнеюрских отложениях. Вместе с тем при учете палеоклимата по "стандартному" ходу температур земной поверхности "работа" палео-

Т а б л и ц а 4. Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур (скв. Лугинецкая 183)

Глубина, м	Измеренные температуры, °С	Способ измерения	Расчетные (без учета палеоклимата), °С		Расчетные (без учета палеоклимата, без учета данных ОСВ), °С		Расчетные (учет палеоклимата, «местный» тренд температур), °С		Расчетные (учет палеоклимата, «стандартный» тренд температур), °С	
			значение	разница	значение	разница	значение	разница	значение	разница
2 200	77	Пластовые	85	+ 8	78	+ 1	80	+ 3	80	+ 3
2 350	84	Пластовые	90	+ 6	83	- 1	85	+ 1	85	+ 1
2 345	98	По ОСВ	84	- 14	—	—	94	- 4	93	- 5

Т а б л и ц а 5. Оценка относительной плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей R для вариантов учета векового хода температур на поверхности Земли (скв. Лугинская 183)

Вариант (сценарий)	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
Без учета палеоклимата	28	25	31,5—0,03	31,5	89
Без учета палеоклимата (без учета данных ОСВ)	—	—	—	—	—
Учет палеоклимата («местный» вековой ход температур на поверхности Земли)	67	22	61,7—0,24	61,5	99
Учет палеоклимата («стандартный» вековой ход температур на поверхности Земли)	49	15	61,7—20 3,8—3,1	42,4	95

очага характеризуется прерывистостью (в интервале 7,0—3,8 млн лет назад) и он менее интенсивен по максимальным температурам.

Из анализа табл. 4 и 5 однозначно следует, что реконструкции термической истории материнских баженовских отложений без учета палеоклимата не согласуются с данными ОСВ и установленной нефтегазоносностью разреза. Использование при реконструкциях "местного" векового хода температур земной поверхности существенно (до 30%) улучшает показатель плотности прогнозных ресурсов нефти R , чем при использовании "стандартного" векового хода температур. Важно заметить, что *если не учитывать палеоклимат и при этом игнорировать данные ОСВ, прогнозные ресурсы могут быть ошибочно не выявлены* (табл. 5, сценарий 2).

Реконструкция и анализ термической истории тогурской свиты. Восстановление термической истории тогурской свиты ($J_1 t_1$) выполнено методом палеотемпературного моделирования для 51 ключевого момента геологического времени (табл. 6). Пороговая температура очагов генерации нефти тогурской свитой принята 95 °С, так как РОВ в этих отложениях в основном гумусового типа.

Анализ расчетных геотемператур показывает, что в варианте без учета палеоклимата, но с использованием температур по ОСВ, геотемпературные условия для генерации нефти

существуют в течение 62 млн лет. Однако в этом варианте расхождение измеренных и расчетных геотемператур велико (табл. 7). Продолжительность катагенетических условий генерации тогурских нефтей в варианте без учета палеоклимата и данных ОСВ оказалась такой же, как и в варианте с учетом данных ОСВ.

При восстановлении термической истории разреза с учетом палеоклимата как "местным", так и "стандартным" ходом температур поверхности Земли, расхождения расчетных максимальных геотемператур и "реперных" по ОСВ находятся в пределах допустимых значений. Однако в варианте с учетом "местного" тренда температур в период 20—24 млн лет назад наступают катагенетические условия глубокой зоны газообразования (геотемпературы достигают 136 °С), что хорошо согласуется с установленной газоносностью нижеюрского и палеозойского НГК (см. табл. 1).

Оценка относительной плотности генерированных нефтей R для всех сценариев термической истории тогурских отложений в скв. Северо-Фестивальная 1 показала (табл. 8), что в сценарии с "местным" трендом температур получено максимальное значение относительной плотности ресурсов генерированных нефтей.

Выводы. 1. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур на поверхности Земли южной палеоклиматической зоны Западной Си-

Т а б л и ц а 6. Расчетные геотемпературы тогурской свиты в разрезе скв. Северо-Фестивальная 1

Время, млн лет назад	Вековой ход температур на поверхности Земли, °С		Глубина положения тогурской свиты, м	Геотемпературы тогурской свиты, °С			
	«местный»	«стандартный»		без учета палеоклимата	без учета палеоклимата (без учета данных ОСВ)	с учетом палеоклимата («местный» ход температур)	с учетом палеоклимата («стандартный» ход температур)
0	0	+2	3 177	125	122	120	121
0,005	+3	+2	3 176	125	122	120	121
0,03	-2	+2	3 176	125	122	119	121
0,05	-1	+2	3 175	125	122	119	121
0,07	-4	+2	3 175	125	121	119	121
0,09	-1	+2	3 175	125	121	119	121
0,11	-4	+2	3 174	125	121	119	120
0,13	-1	+2	3 174	125	121	119	120
0,15	-4	+2	3 173	124	121	120	120
0,19	-9	+2	3 172	124	121	121	120
0,21	-6	+2	3 172	124	121	121	120
0,235	-10	+2	3 171	124	121	121	120
0,24	0	+2	3 171	124	121	122	120
1,64	+1	+2	3 142	124	120	122	120
3,1	+2	+2	3 141	123	120	125	120
3,2	+2	+2	3 141	123	120	126	120
3,8	+12	+5	3 141	123	120	130	122
4,7	+3	+4	3 141	123	120	124	122
5,2	-3	+4	3 141	123	120	125	121
5,7	+7	+4	3 141	123	120	128	121
6,3	+10	+4	3 141	123	120	129	121
7	+4	+4	3 141	123	120	124	121
20	+15	+7	3 140	123	120	135	124
24	+16	+8	3 140	123	120	136	125
31,5	+17	+9	3 000	117	114	130	120
32,3	+16	+10	2 986	116	113	129	121
34	+15	+12	2 973	116	113	127	122
37,6	+14	+15	2 946	115	112	125	124
41,7	+12	+19	2 916	113	110	122	127
42	+11	+20	2 910	113	110	120	127
46	+8	+21	2 837	110	107	115	125

54,8	+ 19	+ 21	2 676	102	100	118	118
58	+ 24	+ 20	2 643	101	98	122	116
61,7	+ 22	+ 20	2 606	99	97	118	114
73	+ 15	+ 20	2 439	92	90	105	107
73,2	+ 16	+ 20	2 436	92	89	105	107
86,5	+ 22	+ 20	2 306	86	84	106	102
89,8	+ 22	+ 20	2 305	86	84	106	102
90	+ 23	+ 20	2 303	86	84	106	101
91,6	+ 22	+ 20	2 290	85	83	105	101
114,1	+ 21	+ 20	1 490	54	52	73	71
118	+ 19	+ 20	1 458	53	51	70	69
120,2	+ 19	+ 20	1 449	52	50	69	69
132,4	+ 19	+ 20	836	29	29	48	48
136,1	+ 19	+ 20	782	27	27	46	46
145,8	+ 19	+ 20	469	17	16	35	35
151,2	+ 19	+ 20	446	16	15	34	35
156,6	+ 19	+ 20	441	15	15	34	34
162,9	+ 19	+ 20	371	13	13	31	32
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ²				57,2	55,7	55,6	54,2

Примечание: светло-серой заливкой обозначены времена палеотемпературных максимумов в тогурской свите, темно-серой заливкой — температуры главной зоны нефтеобразования.

Т а б л и ц а 7. Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур (скв. Северо-Фестивальная 1)

Глубина, м	Измеренные температуры, °С	Измерения	Расчетные (без учета палеоклимата), °С		Расчетные (без учета палеоклимата, без учета данных ОСВ), °С		Расчетные (учет палеоклимата, «местный» ход температур), °С		Расчетные (учет палеоклимата, «стандартный» ход температур), °С	
			значение	разница	значение	разница	значение	разница	значение	разница
3 130	118	пластовые	124	+ 6	120	+ 2	119	+ 1	119	+ 1
3 145	123	пластовые	124	+ 1	121	- 2	119	- 4	120	- 3
3 232	124	по ОСВ	117	- 7	—	—	128	+ 4	126	+ 2

Т а б л и ц а 8. Оценка относительной плотности ресурсов генерированных тогурских нефтей R для вариантов учета векового хода температур на поверхности Земли (скв. Северо-Фестивальная 1)

Вариант (сценарий)	Расчетные ресурсы (R), усл. ед.	Количество расчетных временных интервалов работы очага (n)	Период работы палеоочага генерации нефти, млн лет назад	Время работы палеоочага, млн лет	Максимальные геотемпературы палеоочага, °С
Без учета палеоклимата	78	34	61,7—0	61,7	125
Без учета палеоклимата (без учета данных ОСВ)	70	34	61,7—0	61,7	122
Учет палеоклимата («местный» вековой ход температур на поверхности Земли)	109	40	91,6—0	91,6	136
Учет палеоклимата («стандартный» вековой ход температур на поверхности Земли)	106	40	91,6—0	91,6	127

бири. Определен "местный" вековой ход температур на поверхности Земли, начиная с юрского времени.

2. Получена оценка существенного влияния палеоклимата на степень реализации генерационного потенциала тогурской и баженовской свит, формирующих залежи углеводородов нефтегазоносных комплексов юго-востока Западной Сибири.

3. Использование "местного" векового хода температур на поверхности Земли повышает эффективность технологий определения прогнозных ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом.

4. "Местный" вековой ход температур юж-

ной палеоклиматической зоны Западной Сибири рекомендуется учитывать при определении ресурсов углеводородов на землях Томской, Новосибирской и Омской областей.

Представляется актуальным провести аналогичные исследования по сибирской палеоклиматической зоне (Тюменская область, Ханты-Мансийский АО) и по северо-сибирской палеоклиматической зоне (Ямало-Ненецкий АО). Получаемые при этом аналитические сводки и экспериментальные данные способствуют совершенствованию критериев оценки перспектив нефтегазоносности территорий, расширяют информационно-аналитическую основу развития теории нефтидогенеза.

Список литературы

- 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.
- 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.
- Галушкин Ю. И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. Москва: Научный Мир, 2007. 456 с.
- 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.
- Гольберт А. В. Основы региональной палеоклиматологии. Москва: Недра, 1987. 222 с.
- 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. Москва: Недра, 1977. 107 с.
- 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.
- Ермаков В. И., Скоробогатов В. А. Тепловое поле и нефтегазоносность молодых плит СССР. Москва: 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.
- Зубаков В. А. Глобальные климатические события неогена. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 223 с.
- Исаев В. И., Лобова Г. А., Рояк М. Э., Фомин А. Н. Нефтегазоносность центральной части Югорского свода. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 2. С. 15—46.
- Исаев В. И., Старостенко В. И. Оценка нефтегазоматеринского потенциала осадочных бассейнов Дальневосточного региона по данным гравиметрии и геотермии. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 2. С. 46—61.
- Исаев В. И., Фомин А. Н. Очаги генерации нефтей баженовского и тогурского типов в южной части Нюрольской мегавпадины. *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47. № 6. С. 734—745.
- Конторович А. Э., Буриштейн Л. М., Малышев Н. А., Сафронов П. И., Гуськов С. А., Ершов С. В., Казанников 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.
- Лобова Г. А., Осипова Е. Н., Креницина К. А., Останкова Ю. Г. Влияние палеоклимата на геотермический режим и нефтегенерационный потенциал баженовской свиты (на широтах Томской области). *Изв. Томск. политехн. ун-та*. 2013 б. Т. 322. № 1. С. 45—50.
- Лобова Г. А., Попов С. А., Фомин А. Н. Локализация прогнозных ресурсов нефти юрско-меловых нефтегазоносных комплексов Усть-Тымской мегавпадины. *Нефтяное хозяйство*. 2013 а. № 2. С. 36—40.
- Лопатин Н. В. Концепция нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем как интегрирующее начало в обосновании поисково-разведочных работ. *Геоинформатика*. 2006. № 3. С. 101—120.
- Малышев Н. А., Обметко В. В., Борогулин А. А. Опыт применения технологии бассейнового моделирования в ОАО "НК-Роснефть" для оценки перспектив нефтегазоносности акваторий и выбора новых направлений геолого-разведочных работ. *Нефтяное хозяйство*. 2012. № 11. С. 14—17.
- Попов С. А., Исаев В. И. Моделирование нефтидогенеза Южного Ямала. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 2. С. 80—104.
- 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.
- Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск: Изд. ИНГТ СО РАН, 2011. 331 с.
- Шарбатян А. А. Экстремальные оценки в геотермии и геокриологии. Москва: Наука, 1974. 123 с.
- Ясаманов Н. А. Реконструкции климатических условий мезозоя и кайнозоя Юга СССР. В кн.: *Методы реконструкции палеоклиматов*. Москва: Наука, 1985. С. 179—184.
- Gulenok R. Yu., Isaev V. I., Kosygin V. Yu., Lobova G. A., Starostenko V. I., 2011. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data. *Russian J. Pacific Geology* 5 (4), 273—287.

Mesozoic-Cenozoic course of temperatures on the earth's surface and geothermal regime of the Jurassic oil source deposits (southern paleoclimatic zone of West Siberia)

© V. I. Isaev, A. A. Iskorkina, 2014

In a review the state of studies of the influence of the secular course of temperatures on the earth's surface on the thermal history of deep oil source deposits is characterized as a state of scientific research. The aim of research is generalization of the known data about Mesozoic-Cenozoic climate of southeastern part of West Siberia and the assessment of impact of the secular course of temperature of the earth's surface on the geothermal regime, the degree of realization of generation potential of parent Jurassic suites (bazhenov and togur suites). "Local" secular course of temperature of the Earth's surface for southern paleoclimatic zone of West Siberia is based on analytical summary of results of paleoclimatic reconstructions of Jurassic, Cretaceous, Paleogene, Neogene and Quaternary periods, published by various authors in the period of 1974—2011. The assessment of impact of paleoclimate on the thermal history of parent deposits was made on the basis of verification of results of paleotemperature modeling of sedimentary sections of deep wells, which opened the bazhenov and togur suites in Nyurolsky megadepression. It is established that reconstructions of thermal history of parent deposits excluding paleoclimate does not agree with the "bench mark" data about reflectance of vitrinite and installed oil-and-gas presence of section. Use for reconstruction of "local" secular course of temperature of the Earth's surface significantly clarifies the indicator of density for expected oil resources. "Local" secular course is recommended to consider in determining the hydrocarbon resources by volume-genetic method on land in Tomsk, Novosibirsk and Omsk regions.

Key words: secular course of temperatures, geothermal mode of the parent sediments, the density of primary oil, southeast of West Siberia.

References

- Burshteyn L. M., Zhidkova L. V., Kontorovich A. E., Melenevskiy V. N.*, 1997. Model of katagenesis organic matter (for example, the Bazhenov Formation). *Geologiya i geofizika* 38 (6), 1070—1078 (in Russian).
- Volkova V. S.*, 2011. Stratigraphy and paleotemperature trend in the Paleogene and Neogene of Western Siberia (according to palynology). *Geologiya i geofizika* 52 (7), 906—915 (in Russian).
- Galushkin Yu. I.*, 2007. Modeling of sedimentary basins and their oil and gas evaluation. Moscow: Nauchnyy Mir, 456 p. (in Russian).
- Golovanova I. V., Salmanova R. Yu., Demezhko D. Yu.*, 2012. Climate reconstruction in the Urals geothermal data. *Geologiya i geofizika* 53 (12), 1776—1785 (in Russian).
- Golbert A. V.*, 1987. Basis of regional paleoclimatology. Moscow: Nedra, 222 p. (in Russian).
- Golbert A. V., Grigoreva K. N., Ilenok L. L., Markova L. G., Skuratenko A. B., Teslenko Yu. V.*, 1977. Paleoclimates Siberia in the Cretaceous and Paleogene periods. Moscow: Nedra, 107 p. (in Russian).
- Gretskaya E. V., Litvinova A. V.*, 2011. Structure and development of petroleum systems Magadan Basin (North Okhotsk shelf). *Geologiya nefti i gaza* (6), 132—140 (in Russian).
- Ermakov V. I., Skorobogatov V. A.*, 1986. Thermal field and oil-and-gas young plates of the USSR. Moscow: Nedra, 222 p. (in Russian).
- Erofeev L. Ya., Zavidiy T. Yu.*, 2010. Determination of correction data for paleoclimatic factor for correction geothermal research results. *Geofizika* (5), 48—52 (in Russian).
- Zubakov V. A.*, 1990. Global climatic events Neogene. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 223 p. (in Russian).

- Isaev V.I., Lobova G.A., Royak M.E., Fomin A.N., 2009. Oil-and-gas bearing of the central part of the Ugra arch. *Geofizicheskij zhurnal* 31 (2), 15—46 (in Russian).
- Isaev V.I., Starostenko V.I., 2004. Evaluation of oil-and-gas potential of sedimentary basins of the Far Eastern region by data of gravimetry and geothermics. *Geofizicheskij zhurnal* 26 (2), 46—61 (in Russian).
- Isaev V.I., Fomin A.N., 2006. Foci of generation Bazhenov and Togur types of oil in southern part of Nyurolojskoj megadepression. *Geologiya i geofizika* 47 (6), 734—745 (in Russian).
- Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Malyshev N.A., Safronov P.I., Guskov S.A., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Kim N.S., Kontorovich V.A., Kostyeva E.A., Melenevskiy V.N., Livshits V.R., Polyakov A.A., Skvortsov M.B., 2013. Historical and geological modeling of processes naftidogenesis in Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin of the Kara Sea (basin modeling). *Geologiya i Geofizika* 54 (8), 1179—1226 (in Russian).
- Kontorovich V.A., 2002. Tectonics and oil-and-gas bearing Mesozoic-Cenozoic deposits in southeastern West Siberia. Novosibirsk: SB RAS Publ., 253 p. (in Russian).
- Lobova G.A., Osipova E.N., Krinitsina K.A., Ostankova Yu.G., 2013 a. Influence paleoclimate on geothermal regime and oil generation potential of the Bazhenov Formation (at latitudes Tomsk region). *Izvestija Tomsk. politehn. un-ta* 322 (1), 45—50 (in Russian).
- Lobova G.A., Popov S.A., Fomin A.N., 2013 б. Localization of predicted resources of oil Jurassic-Cretaceous oil and gas complexes Ust-Tym megadepression. *Neftyanoe khozyaystvo* (2), 36—40 (in Russian).
- Lopatin N.V., 2006. The concept of generation and accumulation of oil and gas systems as integrating principle in justifying exploratory works. *Geoinformatika* (3), 101—120 (in Russian).
- Malyshev N.A., Obmetko V.V., Borodulin A.A., 2012. Experience of application of technology the basin modeling in Rosneft to evaluate the hydrocarbon potential areas and the selection of new areas of exploration work. *Neftyanoe khozyaystvo* (11), 14—17 (in Russian).
- Popov S.A., Isaev V.I., 2011. Modeling of naftidogenesis of Southern Yamal. *Geofizicheskij zhurnal* 33 (2), 80—104 (in Russian).
- Safronov P.I., Ershov S.V., Kim N.S., Fomin A.N., 2011. Modeling of processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbons in the Jurassic and Cretaceous complexes of Yenisei-Khatanga basin. *Geologiya nefti i gaza* (5), 48—55 (in Russian).
- Fomin A.N., 2011. Catagenesis organic matter and oil-and-gas Mesozoic and Paleozoic deposits of the West Siberian megabasin. Novosibirsk: IPGG SB RAS Publ., 331 p. (in Russian).
- Sharbatyan A.A., 1974. Extreme estimates in geothermic and cryopedology. Moscow: Nauka, 123 p. (in Russian).
- Yasamanov N.A., 1985. Reconstruction of climatic conditions of the Mesozoic and Cenozoic of South USSR. In: *Methods of reconstruction palaeoclimates*. Moscow: Nauka, 179—184 (in Russian).
- Gulenok R.Yu., Isaev V.I., Kosygin V.Yu., Lobova G.A., Starostenko V.I., 2011. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data. *Russian J. Pacific Geology* 5 (4), 273—287.