

УДК 553.98:553.041:552.578:550.8.05

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРАВНИТЕЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКОГО МЕТОДА И ГЕОТЕРМИИ КАК НОВОГО МЕТОДА РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Искоркина Альбина Альбертовна,

аспирант кафедры геофизики Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: iskorkina.a@mail.ru

Брылина Ирина Владимировна,

канд. филос. наук, доцент кафедры философии Института
социально-гуманитарных технологий ТПУ, Россия,
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: ibrylina@yandex.ru

Корниенко Алла Александровна,

д-р филос. наук, профессор, заведующая кафедрой философии
Института социально-гуманитарных технологий ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: allaphil@tpu.ru

Исаев Валерий Иванович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизики
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, д. 30. E-mail: isaevvi@tpu.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования методики оценки ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом, основанным на палеореконструкциях геотемпературного режима нефтематеринских отложений.

Цель исследований: оценка влияния векового хода температур на поверхности Земли на геотермический режим нефтематеринских отложений юго-востока Западной Сибири, на степень реализации их генерационного потенциала.

Объекты исследований: среднегодовые температуры в мезозое и кайнозое южной палеоклиматической зоны Западной Сибири, баженовские отложения мезозойско-кайнозойского разреза, вскрытого глубокими скважинами на широтах Томской и Новосибирской областей.

Методы исследования: аналитическая сводка реконструкций векового хода температур на дневной поверхности в мезозое-кайнозое, выполненных с применением актуалистического метода; метод палеотемпературного моделирования для количественной оценки влияния палеоклиматического фактора на геотермический режим материнских отложений и интенсивность генерации углеводородов.

Результаты исследований. Проведено географическое и геохронологическое обобщение опубликованных в период 1974–2011 гг. данных о вековом ходе температур на поверхности Земли юго-востока Западной Сибири. Данные получены рядом авторов на основе сравнительно-исторического анализа литологии осадочных толщ, ареалов флоры, материалов изотопной и магнетиальной термометрии. Для южной палеоклиматической зоны (Томская, Новосибирская и Омская области) построен «местный» вековой ход температур на земной поверхности начиная с юрского времени. Палеотемпературным моделированием разреза осадочного чехла, включая нефтематеринские отложения, выделены по геотемпературному критерию очаги интенсивной генерации баженовских нефтей, выполнен расчет и анализ распределения относительной плотности ресурсов нефтей. Получена количественная оценка влияния палеоклимата на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала баженовской свиты, формирующих залежи углеводородов нефтегазоносных комплексов томских и новосибирских нефтепромыслов. Показано, что в случае неучета палеоклимата невозможно адекватно восстановить термическую историю материнских отложений, что может занижать до 2-х раз и более величины расчетных ресурсов объемно-генетическим методом. Использование «местного» векового хода температур на поверхности Земли повышает эффективность технологии определения прогнозных ресурсов, позволяя более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования, не завышая/занижая (до 30–40 %) расчетные ресурсы. Продемонстрированы преемственность и научно-практическая значимость сочетания сравнительно-исторического (актуалистического) метода классической геологии и нового метода разведочной геофизики – геотермии – в решении задач оценки ресурсов углеводородов.

Ключевые слова:

Эффективная методика, ресурсы углеводородов, палеоклимат, актуалистический метод, баженовская свита, метод палеотемпературного моделирования, юго-восток Западной Сибири.

Введение

Россия является значимым поставщиком нефти на мировой рынок. Нефть является национальным ресурсом, одним из источников мощи России. Поэтому вопросы, связанные с разработкой новых ресурсоэффективных и энергос-

берегающих технологий поисков, разведки и добычи нефти, основанных на современной научной методологии, новых методик оценки ресурсов углеводородов, являются чрезвычайно важными для государства и актуальными для науки и бизнеса.

Наряду с дисциплинарными методами, используемыми в геологии на протяжении веков, сегодня пришло время переосмысления и расширения традиционно используемой методологии, обогащения ее междисциплинарным подходом (метод геотермии), и использования трансдисциплинарных принципов (холистичности, экстраполяции, многовариативности, темпоральности и др.).

В геологических исследованиях уже более трех веков повсеместно применяется сравнительно-исторический метод *классической* геологии – актуализм. Чарльз Лайель сформулировал положение, согласно которому современные природные процессы являются ключом к познанию процессов далекого геологического прошлого [1]. Идея этого подхода заключается в том, что все климатические и геологические процессы в далеком прошлом можно сопоставить с современными, а между современными и прошлыми процессами можно провести прямые аналогии. Следовательно, для того чтобы восстановить, например, палеоклиматические события прошлого нужно изучить аналогичные современные процессы и характеристики современных процессов перенести на прошлые. Таким образом, концептуальной основой сравнительно-исторического метода является допущение, что наблюдения над современными процессами позволяют судить о ходе и характеристиках аналогичных процессов в далеком геологическом прошлом.

Геотермия – это не только область теоретической геофизики, но и *формирующий* метод разведочной геофизики [2], дающий важнейшую количественную информацию при решении как фундаментальных геодинамических и палеоклиматических проблем, проблем региональных нефтегеологических и металлогенических исследований, так и в прогнозно-поисковых работах. Особая значимость геотермии проявляется в проводимых прогнозно-поисковых нефтегеологических исследованиях. Значимость состоит в том, что на начальном этапе исследований по геотемпературному критерию определяются очаги генерации нефти. Так решается концептуальная задача о «главном источнике» углеводородов (УВ), которая определяет эффективность стратегии поисков [3].

Ниже показано, как результаты применения *актуалистического метода* позволили восстановить палеоклимат – вековой ход температур на дневной поверхности в мезозойско-кайнозойском прошлом Земли. Это сделало возможным *методом палеотемпературного моделирования* количественно оценить палеоклиматический фактор интенсивности генерации УВ и в конечном итоге усовершенствовать методику оценки ресурсов углеводородов на территории Западной Сибири. Объект исследований – недра юго-востока Западной Сибири.

Постановка задачи

Современные определения ресурсов УВ выполняются объемно-генетическим методом (бассейновое моделирование) на основе реконструкции геотемпературного режима формирования нефтематеринских отложений.

В некоторых работах при реконструкции температурного режима нефтематеринских отложений осадочных бассейнов континентальной части и шельфа Российской Федерации вековой ход температур земной поверхности не учитывается [4, 5].

В то же время ряд исследователей отмечают осложнение регионального теплового поля Урала и Фенноскандии, вызванное особенностями климатической истории, и учитывают эти особенности при характеристике температурного режима недр конкретных территорий [6, 7 и др.]. Лобовой Г.А. с соавторами, на основе многовариантного палеотемпературного моделирования осадочных разрезов глубоких скважин на территории Томской области, отмечено влияние палеоклимата на термическую историю и реализацию генерационного потенциала бажендовской свиты [8].

Ученые, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций на основе отечественных компьютерных систем (например, ГАЛО), учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [9, 10]. Этот вековой ход температур можно условно назвать «стандартным», т. к. он применяется единообразно для разных региональных палеоклиматических зон Сибири [11].

Известные зарубежные программно-математические комплексы бассейнового моделирования (например, Temis), применяемые для определения ресурсов УВ Приенисейской и Арктической областей Западной Сибири, не учитывают вековой ход температур на поверхности Земли. 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). Исходя из этого, вопрос требует специального рассмотрения [12].

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

Настоящая работа преследовала следующие цели: 1) обобщить данные о мезозойско-кайнозойском климате южной региональной палеоклиматической зоны Западной Сибири (Томская и Новосибирская области), полученные актуалистическими реконструкциями; 2) оценить методом палеотемпературного моделирования влияние векового хода температур поверхности Земли на геотермиче-

ский режим, на степень реализации генерационного потенциала юрских нефтематеринских свит.

Построение «местного» векового хода температур на поверхности Земли (обобщение результатов актуалистических реконструкций)

В табл. 1 приводится аналитическая сводка определений среднегодовых температур в мезозое и кайнозое южной климатической зоны Западной Сибири различных авторов.

Шарбатяном А.А. [13] 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 олединения и пр.) в этот промежуток времени. Осредненные значения векового хода температур приведены в табл. 1.

Зубаковым В.А. [14] 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. 1.

Волковой В.С. [15] использован палинологический материал по скважинам и разрезам западной и средней части Западной Сибири, выполнен 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. 1 приведены температуры, соответствующие дискретным определениям значений среднегодовых температур палеогена и неогена Западной Сибири.

Ясаманов Н.А. [16] 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 магнетиальный метод палеотермометрии (по отношению кальция к магнию в органическом кальците). В табл. 1 приведены осредненные определения палеотемператур, начиная с раннеюрской эпохи до середины олигоцена, для южной зоны Западной Сибири.

Таблица 1. Среднегодовая температура в мезозое и кайнозое Западной Сибири (северные широты 57–61°)

Table 1. Average annual temperature in Mesozoic and Cenozoic eras in Western Siberia (high latitudes 57–61°)

Время, млн лет назад Age, million years ago	Температуры на поверхности Земли, °С Temperature on Earth surface, °C	Авторы, источник данных, Authors, sources of data
0	0	Шарбатян А.А. [13] Sharbatyan A.A. [13]
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	
2,2	+3	Зубаков В.А. [14] Zubakov V.A. [14]
2,4	0	
3,1	+2	
3,2	+2	
3,8	+14	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
3,9	+8	Зубаков В.А. [14] Zubakov V.A. [14]
4,8	+5	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
5,2	–3	Зубаков В.А. [14] Zubakov V.A. [14]
5,7	+7	
6,3	+10	
7,0	+4	
11,5	+6	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
14	+7	
20	+15	
32	+13	
33	+18	Ясаманов Н.А. [16] Yasmanov N.A. [16]
34	+15	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
42	+11	
46	+8	Гольберт А.В. и др. [11, 17] Gilbert A.V. et al. [11, 17]
48	+17	
50	+15	
55	+17	
58	+24	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
62	+20	
64	+26	Ясаманов Н.А. [16] Yasmanov N.A. [16]
65	+17	Волкова В.С. [15] Volkova V.S. [15]
73	+15	Гольберт А.В. и др. [11, 17] Gilbert A.V. et al. [11, 17]
89	+17	
90	+26	Ясаманов Н.А. [16] Yasmanov N.A. [16]
115	+17	
120	+18	Гольберт А.В. и др. [11, 17] Gilbert A.V. et al. [11, 17]
178	+19	Ясаманов Н.А. [16] Yasmanov N.A. [16]
202	+19	

Гольберт А.В. с соавторами [11, 17] дают развернутую характеристику палеоклимата мелового и палеогенового периодов Сибири, с выделением северо-сибирской, сибирской северной, сибирской южной и северо-казахстанской зон и подзон. Авторы использовали методы изотопной и магнетиальной палеотермометрии, а также данные палеоботаники и климатической интерпретации геологических формаций. В табл. 1 приведены среднегодовые температуры для сибирской южной подзоны начиная с раннемеловой эпохи по эоценовую.

Так, используя опубликованные результаты актуалистических реконструкций, построен «местный» вековой ход температур на поверхности Земли начиная с юрского времени – времени осадконакопления тогурской и баженовской нефтематеринских свит [18]

Оценка влияния палеоклиматического фактора на геотермический режим и реализацию генерационного потенциала нефтематеринских отложений (палеотемпературное моделирование)

Оценка влияния векового хода температур на термическую историю материнских отложений выполнена на основе верификации результатов 4-х вариантов моделирования, проведенного для разрезов глубоких скважин в программно-математическом комплексе палеотектонических реконструкций, и палеотемпературного моделирования [19–21]. В первом варианте моделирования палеоклимат не учитывается, но учитываются данные отражательной способности витринита (ОСВ), во втором варианте не учитываются палеоклимат и ОСВ, в третьем варианте палеоклимат учитывается по «стандартному» вековому ходу температур, в четвертом варианте палеоклимат учитывается по «местному» вековому ходу температур.

Используемый программно-математический комплекс моделирования 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 ОСВ. Способ перехода от ОСВ к соответствующей геотемпературе предложен и приведен в [22].

Для количественного анализа вариативности сценариев термической истории материнских отложений для каждого варианта рассчитывается интегральный показатель относительной плотности ресурсов генерированных нефтей R по формуле [23]:

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

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

Первым основным критерием предпочтительности одного из вариантов палеотемпературного моделирования выступает лучшая согласованность максимума расчетных температур геотермического режима с «реперными» температурами, определенными по ОСВ, а также оптимальная согласованность расчетных геотемператур с «наблюденными» пластовыми. Вторым основным критерием предпочтительности является согласованность наличия и время «работы» очагов интенсивной генерации нефтей с установленной геологоразведкой нефтегазоносностью недр.

Характеристика объекта исследований

Моделирование палеогеотемпературных условий для материнских баженовских отложений выполнено для осадочных разрезов глубоких скважин Лугинецкой 183 и Верх-Тарской 7 (рисунок, табл. 2).

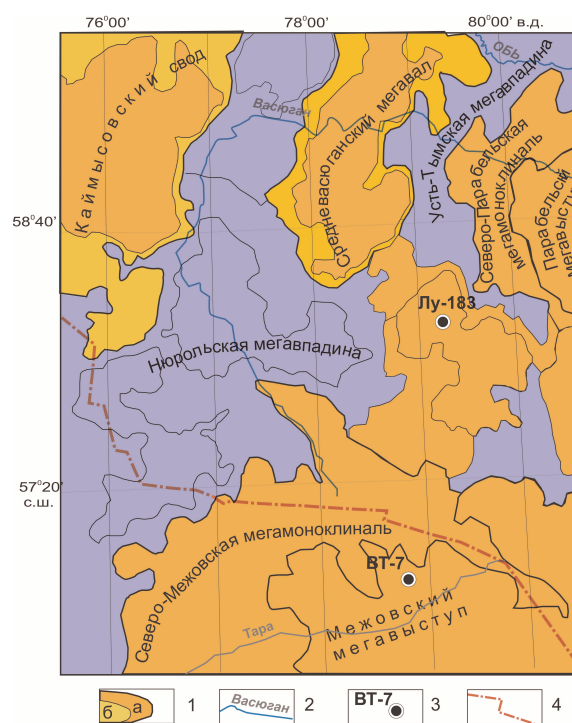


Рисунок. Обзорная схема территории исследований (на основе [24]): 1 – структуры: а – I порядка, б – II порядка; 2 – реки; 3 – исследуемые скважины: Лугинецкая 183, ВТ-7 – Верх-Тарская 7; 4 – административная граница между Томской и Новосибирской областями

Figure. Review scheme of the studied territory (by [24]): 1 – structures of the: а – I order, б – II order; 2 – rivers; 3 – studied wells: Лугинецкая 183, ВТ-7 – Verkh-Tarskaya 7; 4 – administrative boundary between Tomsk and Novosibirsk regions

Таблица 2. Характеристики разрезов глубоких скважин**Table 2.** Characteristics of deep well logs

Характеристики Characteristics	Исследуемые скважины Wells under study	
	Лугинецкая 183 Luginetskaya 183	Верх-Тарская 7 Verkh-Tarskaya 7
Забой, м Bottom, m	2500	2821
Отложения на забое (свита) Sediments on bottom (suite)	Средняя юра (тюменская) Middle Jurassic (tyumenskaya)	Палеозой (PZ) Paleozoic
Кровля баженовской свиты, м Bazhenov suite top, m	2313	2408
Мощность баженовской свиты, м Bazhenov suite strength, m	16	58
Результаты испытаний (свита; пласт; тип флюида; дебит, м³/сут.) Test results (suite; layer; fluid type; debit, m³/day)	Васюганская; Ю₁²; нефть; 11, 5. Васюганская; Ю₁²; нефть; 13, 0. Vasyuganskaya; J₁²; oil; 11, 5. Vasyuganskaya; J₁²; oil; 13, 0	Васюганская; Ю₁; нефть; 264,0. Васюганская; Ю₁; нефть; 40,8. Васюганская; Ю₁; нефть; 40,8. Vasyuganskaya; J₁; oil; 264,0. Vasyuganskaya; J₁; oil; 40,8. Vasyuganskaya; J₁; oil; 40,8.
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; пластовая температура) Measured reservoir temperatures (suite; measurement depth; reservoir temperature)	Куломзинская; 2200 м; 77 °C Тюменская; 2350 м; 84 °C Kulomzinskaya; 2200 m; 77 °C Tyumenskaya; 2350 m; 84 °C	Васюганская; 2488 м; 80 °C Васюганская; 2485 м; 85 °C Васюганская; 2485 м; 86 °C Vasyuganskaya; 2488 m; 80 °C Vasyuganskaya; 2485 m; 85 °C Vasyuganskaya; 2485 m; 86 °C
«Измеренные» температуры по ОСВ (свита; глубина отбора; (R ⁰ _v); температура) «Measured» temperatures by VR* (suite; sampling depth (R ⁰ _v); temperature)	Васюганская; 2345 м; (0,63); 98 °C Vasyuganskaya; 2345 m; (0,63); 98 °C	Тюменская; 2735 м; (0,70); 106 °C Tyumenskaya; 2735 m; (0,70); 106 °C

*VR is the vitrinite reflectance

В Томской области нефтепромыслы сосредоточены главным образом в Нюрольской мегавпадине и на структурах ее обрамления. Основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового нефтегазоносных комплексов (НГК) являются нефтематеринские породы баженовской свиты (J_3v). Генерационный потенциал этих отложений в пределах этой территории обусловлен высоким содержанием сапропелевого материала ($C_{орг}$ до 12 %), их повсеместным распространением и мощностью до 30 м. На Лугинецком месторождении, расположенном в пределах Пудинского мезоподнятия, залежи УВ связаны в основном с верхнеюрскими коллекторами (горизонт Ю₁).

В Новосибирской области все открытые залежи сосредоточены на севере. Верх-Тарское месторождение нефти является наиболее крупным. Оно приурочено к одноименной локальной структуре, осложняющей Межовский межавыступ. Промышленно нефтегазоносными комплексами на Верх-Тарском месторождении являются верхнеюрский (горизонт Ю₁) и палеозойский (пласт М). Основным источником УВ для залежи горизонта Ю₁ служит рассеянное органическое вещество (РОВ) баженовской свиты. Ее мощность в скважинах колеблется от 40 до 58 м. Содержание $C_{орг}$ достигает 15–20 %.

Вариативность результатов палеореконокструкций геотермического режима баженовской свиты и их анализ

Схема расчета палеотемператур состоит из двух этапов. На первом этапе по распределению температур T в скважине рассчитывается тепловой поток q через поверхность подстилающего основания, т. е. решается обратная задача геотермии. На втором этапе с известным значением q решаются прямые задачи геотермии – непосредственно рассчитываются температуры U в любых заданных точках осадочной толщи Z в любые заданные моменты геологического времени t .

Решение прямых задач геотермии выполнено для 46-ти ключевых моментов геологического времени, соответствующих времени начала/завершения формирования каждой свиты и точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности (табл. 3 и 4). По геотемпературному критерию главной зоны нефтеобразования (ГЗН) [25] выделены очаги интенсивной генерации баженовских нефтей. Пороговая температура очагов генерации нефти баженовской свиты принята 85 °C, так как рассеянное органическое вещество в этих отложениях сапропелевого типа.

Таблица 3. Расчетные геотемпературы баженовской свиты скважины Лугинецкая 183**Table 3.** Design geotemperatures of Bazhenov formation of well Luginetskaya 183

Время, млн лет назад Age, million years ago	Вековой ход температур на поверхности Земли, °C Secular temperature curve on Earth surface, °C		Глубина положения баженовской свиты, м Depth of Bazhenov formation location, m	Геотемпературы баженовской свиты, °C Geotemperatures of Bazhenov formation, °C			
	«Стандартный» [9, 10] «Standard» [9, 10]	«Местный» [18] «Local» [18]		Без учета палеоклимата (Вариант 1) Without considering paleoclimate (Version 1)	Без учета ОВВ (Вариант 2) Without considering paleoclimate, without considering VR (Version 2)	Учет палеоклимата «стандартный» ход температуры (Вариант 3) Considering paleoclimate, «standard» temperature curve (version 3)	Учет палеоклимата «местный» ход температуры (Вариант 4) Considering paleoclimate, «local» temperature curve (version 4)
0	+2	0	2321	89	82	83	84
0,005	+2	+3	2320	89	82	83	84
0,03	+2	-2	2320	89	82	83	83
0,05	+2	-1	2320	89	82	83	83
0,07	+2	-4	2319	89	82	84	83
0,09	+2	-1	2319	89	82	83	84
0,11	+2	-4	2319	89	82	83	83
0,13	+2	-1	2319	89	82	83	83
0,15	+2	-4	2318	89	82	83	83
0,19	+2	-9	2318	89	82	83	84
0,21	+2	-6	2317	88	82	83	84
0,235	+2	-10	2317	88	82	83	84
0,24	+2	0	2317	88	82	83	85
1,64	+2	+1	2296	88	82	84	86
3,1	+2	+2	2295	88	81	85	87
3,2	+2	+2	2295	88	81	86	88
3,8	+5	+12	2295	87	81	87	86
4,7	+4	+3	2295	87	81	83	86
5,2	+4	-3	2294	87	81	82	85
5,7	+4	+7	2294	87	81	83	92
6,3	+4	+10	2294	87	81	83	93
7	+4	+4	2294	88	81	84	89
20	+7	+15	2294	88	81	87	99
24	+8	+16	2294	88	81	85	99
31,5	+9	+17	2218	85	78	87	98
32,3	+10	+16	2210	84	77	87	97
34	+12	+15	2200	84	77	87	96
37,6	+15	+14	2178	82	76	95	93
41,7	+19	+12	2154	82	75	95	90
42	+20	+11	2152	81	75	95	89
46	+21	+8	2129	81	74	94	84
54,8	+21	+19	2077	79	72	92	96
58	+20	+24	2058	78	72	91	98
61,7	+20	+22	2037	76	70	89	95
73	+20	+15	1899	71	65	83	83
73,2	+20	+16	1897	70	65	83	83
86,5	+20	+22	1735	64	59	78	83
89,8	+20	+22	1694	62	57	77	83
90	+20	+23	1692	62	57	77	83
91,6	+20	+22	1673	59	55	74	80
114,1	+20	+21	870	31	28	49	49
118	+20	+19	869	30	28	49	48
120,2	+20	+19	869	29	28	49	48
132,4	+20	+19	319	11	10	32	30
136,1	+20	+19	245	9	8	30	27
145,8	+20	+19	8	0,3	0,3	23	19
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м² Design thermal flow from the base, mW/m²				56	51	51	54

Примечание: заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), красной заливкой – абсолютные палеотемпературные максимумы ГЗН, коричневой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.
Note: temperatures of the main oil generation zone (MOGZ) are filled with: red – absolute paleotemperature maximum of MOGZ; brown – relative paleotemperature maximum of MOGZ

Таблица 4. Расчетные геотемпературы баженовской свиты скважины Верх-Тарская 7**Table 4.** Design geotemperatures of Bazhenov formation of well Verkh-Tarskaya 7

Время, млн лет назад Age, million years ago	Вековой ход температур на поверхности Земли, °C Secular temperature curve on Earth surface, °C		Глубина положения баженовской свиты, м Depth of Bazhenov formation location, m	Геотемпературы баженовской свиты, °C Geotemperatures of Bazhenov formation, °C			
	«Стандартный» «Standard»	«Местный» «Local»		Вариант/Version			
0	+2	0	2441	88	82	85	82
0,005	+2	+3	2441	88	82	85	82
0,03	+2	-2	2441	88	82	85	81
0,05	+2	-1	2440	88	82	85	81
0,07	+2	-4	2440	88	82	85	80
0,09	+2	-1	2440	88	82	85	81
0,11	+2	-4	2440	88	82	85	81
0,13	+2	-1	2439	88	82	85	80
0,15	+2	-4	2439	88	82	85	81
0,19	+2	-9	2439	88	82	85	82
0,21	+2	-6	2438	88	82	85	83
0,235	+2	-10	2438	88	82	85	82
0,24	+2	0	2438	88	82	85	84
1,64	+2	+1	2421	87	82	84	84
3,1	+2	+2	2421	87	82	84	86
3,2	+2	+2	2420	87	82	85	87
3,8	+5	+12	2420	87	82	87	93
4,7	+4	+3	2420	87	82	86	86
5,2	+4	-3	2420	87	82	86	87
5,7	+4	+7	2420	87	82	86	90
6,3	+4	+10	2420	87	82	86	91
7	+4	+4	2420	87	82	86	87
20	+7	+15	2419	87	82	89	98
24	+8	+16	2419	87	81	90	99
31,5	+9	+17	2302	82	77	86	95
32,3	+10	+16	2289	82	77	87	94
34	+12	+15	2276	81	76	88	92
37,6	+15	+14	2250	80	75	90	90
41,7	+19	+12	2219	79	74	94	87
42	+20	+11	2218	79	74	94	86
46	+21	+8	2203	78	73	94	82
54,8	+21	+19	2169	77	72	93	92
58	+20	+24	2160	76	72	92	97
61,7	+20	+22	2149	76	71	91	94
73	+20	+15	2045	72	67	87	84
73,2	+20	+16	2043	72	67	87	84
86,5	+20	+22	1981	69	65	85	87
89,8	+20	+22	1819	63	59	79	82
90	+20	+23	1815	63	59	79	82
91,6	+20	+22	1786	59	55	76	79
114,1	+20	+21	940	31	29	49	50
118	+20	+19	939	31	29	49	48
120,2	+20	+19	938	31	29	49	48
132,4	+20	+19	265	9	8	28	27
136,1	+20	+19	214	7	6	26	25
145,8	+20	+19	29	1	1	21	20
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м² Design thermal flow from the base, mW/m²				52	49	49	49

Анализ значений теплового потока из основания осадочного разреза (табл. 3 и 4) показывает, что неучет палеоклимата (Вариант 1) приводит к существенно большим расчетным значениям плотности теплового потока – увеличение до 5–10 %. Это объясняется фактическим отсутствием в этом варианте солярного источника тепла в модели палеотемпературных реконструкций. В этом случае минимизация разницы расчетных и наблюдаемых геотемператур «потребовала» большего значения плотности теплового потока из основания q . Анализ термической истории отложений баженовской свиты в разрезах скважин свидетельствует о том, что в Варианте 1 (без учета палеоклимата) материнская свита «пережила» самую короткую и самую холодную главную фазу нефтеобразования (ГФН). Если при этом не учитывать и данные ОСВ – Вариант 2, то баженовская свита практически как бы и не входила в ГЗН. Последнее не согласуется со вторым основным критерием предпочтительности – не согласуется с установленной нефтегазоносностью пласта Ю₁ (табл. 2).

В Вариантах 3 и 4 с учетом палеоклимата баженовская свита имеет «богатые», но разные термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов различаются геологическим временем проявления не только абсолютного максимума палеотемператур, но и временем проявления относительных максимумов геотемператур в геологическом прошлом. Эта разница в термической истории ГФН имеет существенное значение с точки зрения сингенетичности созревания РОВ материнских отложений, генерации УВ и формирования структурных планов площадей нефтесбора, локальных ловушек.

Интересно отметить (табл. 3 и 4) кажущуюся синхронность изменения геотемператур материнской свиты и палеоклимата (векового хода температуры на земной поверхности). Однако эта синхронность наблюдается при шаге дискретизации геологического времени в млн лет. При более детальном шаге дискретизации проявляется инерционность геотемператур баженовской свиты к изменению палеоклимата.

Сопоставление расчетных и измеренных геотемператур в скважинах (табл. 5) показывает, что в Варианте 1 (без учета палеоклимата) «невязка» (разница) решения обратной задачи геотермии достигает 14–17 °С, что является неприемлемым результатом, свидетельствующим о неадекватности параметрического описания модели палеорекопструкций. Далее, если данные ОСВ исключить (Вариант 2), имеет место минимальная «невязка». Эта согласованность кажущаяся, т. к. получаемая при этом термическая история (табл. 3 и 4) не согласуется с результатами испытаний пласта Ю₁.

В случае учета палеоклимата и данных ОСВ (Варианты 3 и 4) «невязки» решений обратных задач геотермии приемлемы, т. к. измеренные и расчетные геотемпературы имеют погрешность порядка ± 2 °С. Можно отметить, что «невязки» в случае учета палеоклимата по «местному» ходу температур на земной поверхности (Вариант 4) заметно меньше.

Таблица 5. Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур

Table 5. Comparison of measured and design geotemperatures

Глубина, м Depth, m	Измеренные температуры, °C Measured temperatures, °C	Способ измерения Measuring method	Вариант/Version							
			1		2		3		4	
			Расчетные Design	Разница Difference	Расчетные Design	Разница Difference	Расчетные Design	Разница Difference	Расчетные Design	Разница Difference
			°C							
Скважина Лугинецкая 183/Luginetskaya 183										
2200	77	Пластовые Reservoir	85	+8	78	+1	80	+3	80	+3
2350	84	Пластовые Reservoir	90	+6	83	-1	85	+1	85	+1
2345	98	По ОСВ By VR	84	-14	-	-	93	-5	94	-4
Скважина Верх-Тарская 7/Verkh-Tarskaya 7										
2485	85	Пластовые Reservoir	89	+4	84	-1	86	+1	83	-2
2485	86	Пластовые Reservoir	89	+3	84	-2	86	0	83	-3
2488	80	Пластовые Reservoir	89	+9	84	+4	86	+6	83	+3
2735	106	По ОСВ By VR	89	-17	-	-	99	-7	108	+2

Таблица 6. Оценка относительной плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей для вариантов учета векового хода температур на поверхности Земли

Table 6. Estimation of relative density of the generated Bazhenov oil resources for versions of considering secular temperature curve on Earth surface

Вариант Version	Расчетные ресурсы, усл. ед. Design resources, arb. units	Количество расчетных временных интервалов (n) Number of design time intervals (n)	Периоды работы палеоочага генерации нефти, млн лет назад Periods of operation of oil generation paleo-origin, million years ago	Время работы палеоочага, млн лет Time of paleo-origin operation, million years	Максимальные геотемпературы палеоочага, °С Peak geotemperatures of paleo-origin, °C
Скважина Лугинецкая 183/Luginetskaya 183					
1	28	25	31,5–0,03	31,5	89
2	-	-	-	-	-
3	49	15	61,7–20; 3,8–3,1	42,4	95
4	67	22	61,7–0,24	61,5	99
Скважина Верх-Тарская 7/Verkh-Tarskaya 7					
1	25	24	24–0	24	88
2	0	-	-	0	-
3	79	35	86,5–3,1; 0,24–0	83,6	94
4	59	20	86,5–73,2; 61,7–46,0; 42,0–1,64	69,4	99

Расчет относительной плотности генерированных баженовских нефтей (табл. 6) дает минимальные значения плотности при неучете палеоклимата – Вариант 1. Если при этом еще проигнорировать данные ОСВ (Вариант 2), то расчет не дает генерированных ресурсов. В Вариантах 3 и 4 (с учетом палеоклимата) расчетные ресурсы заметно отличаются – до 30–40 %. Для Верх-Тарской площади (Новосибирская область) при учете палеоклимата по «местному» ходу температур получены меньшие ресурсы, чем при учете палеоклимата по «стандартному» вековому ходу. В то время как для Лугинецкой площади (Томская область) получено обратное соотношение величин ресурсов Вариантов 3 и 4.

Выводы

1. Проведено географическое и геохронологическое обобщение данных о вековом ходе температур на поверхности Земли южной палеоклиматической зоны Западной Сибири, полученных на основе сравнительно-исторического анализа литологии осадочных толщ, ареалов флоры, данных изотопной и магнетиальной термометрии. Для южной палеоклиматической зоны определен «местный» вековой ход температур на земной поверхности начиная с юрского времени.
2. Методом палеотемпературного моделирования получена оценка существенного влияния

палеоклимата на геотермический режим и степень реализации генерационного потенциала баженовской свиты, формирующих залежи углеводородов нефтегазоносных комплексов юго-востока Западной Сибири. Установлено, что неучет палеоклимата не позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений. Такой неучет может занижать до 2-х и более раз величины ресурсов, рассчитанных объемно-генетическим методом.

3. Использование «местного» векового хода температур на поверхности Земли повышает эффективность технологии определения прогнозных ресурсов, позволяет более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования и не завышать/занижать (до 30–40 %) расчетные ресурсы.
4. Продемонстрирована преемственность и научно-практическая значимость сочетания сравнительно-исторического (актуалистического) метода классической геологии и нового метода разведочной геофизики – геотермии – в исследованиях по совершенствованию технологий оценки ресурсов углеводородов.
5. Обоснована необходимость расширения методологической базы геологии, разработки новых методик, ресурсоэффективных технологий в области поисков, разведки недр и добычи углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лайель Ч. Основные начала геологии. – М.: Издание А.И. Глазунова, 1868. – Т. 1. – 659 с.; Т. 2. – 562 с.
2. Геотермия арктических морей / М.Д. Хуторской, В.Р. Ахмедзянов, А.В. Ермаков, Ю.Г. Леонов, Л.В. Подгорных, Б.Г. Поляк, Е.А. Сухих, Л.А. Цыбуля / отв. ред. Ю.Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2013. – 232 с.
3. Сунгурова О.Г., Мазуров А.К., Исаев В.И. Ресурсоэффективная стратегия поисков залежей нефти в доюрском основании Западной Сибири // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 325. – № 1. – С. 147–154.
4. Моделирование процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в юрских и меловых комплексах Енисей-Хатангского бассейна / П.И. Сафронов, С.В. Ершов, Н.С. Ким, А.Н. Фомин // Геология нефти и газа. – 2011. – № 5. – С. 48–55.
5. Малышев 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.
6. 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.
7. Vertical variation in heat flow on the Kola Peninsula: palaeoclimate or fluid flow? / C. Vogt, D. Mottaghy, V. Rath, G. Marquart, L. Dijkshoorn, A. Wolf, C. Clauser // Geophysical Journal International. – 2014. – V. 199. – P. 829–843.
8. Влияние палеоклимата на геотермический режим и нефтегенерационный потенциал баженовской свиты (на широтах Томской области) / Г.А. Лобова, Е.Н. Осипова, К.А. Криницина, Ю.Г. Останкова // Известия ТПУ. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 45–50.
9. Лопатин Н.В. Концепция нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем как интегрирующее начало в обосновании поисково-разведочных работ // Геоинформатика. – 2006. – № 3. – С. 101–120.
10. 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.
11. Палеоклиматы Сибири в меловом и палеогеновом периодах / А.В. Гольберт, К.Н. Григорьева, Л.Л. Ильенок, Л.Г. Маркова, А.В. Скурятенко, Ю.В. Тесленко. – М.: Недр, 1977. – 107 с.
12. Историко-геологическое моделирование процессов нефтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря (бассейновое моделирование) / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, Н.А. Малышев, П.И. Сафронов, С.А. Гуськов, С.В. Ершов, В.А. Казаненков, Н.С. Ким, В.А. Конторович, Е.А. Костырева, В.Н. Меленевский, В.Р. Лившиц, А.А. Поляков, М.Б. Скворцов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1179–1226.
13. Шарбатян А.А. Экстремальные оценки в геотермии и геокриологии. – М.: Наука, 1974. – 123 с.
14. Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 223 с.
15. 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.
16. Ясаманов Н.А. Реконструкции климатических условий мезозоя и кайнозоя Юга СССР // Методы реконструкции палеоклиматов. – М.: Наука, 1985. – С. 179–184.

17. Гольберт А.В. Основы региональной палеоклиматологии. – М.: Недра, 1987. – 222 с.
18. 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.
19. Isaev V.I., Volkova N.A., Nim T.V. Solution of direct invers sedimentation heat-flow problems // *Geology of the Pacific Ocean*. – 1996. – V. 12. – № 3. – P. 523–536.
20. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data / R.Yu. Gulenok, V.I. Isaev, V.Yu. Kosygin, G.A. Lobova, V.I. Starostenko // *Russian Journal of Pacific Geology*. – 2011. – V. 5. – № 4. – P. 273–287.
21. Нефтегазоносность нижнемеловых резервуаров Нюрольской мегавпадины / Е.Н. Осипова, Г.А. Лобова, В.И. Исаев, В.И. Старостенко // *Известия ТПУ*. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 14–33.
22. Isaev V.I., Fomin A.N. Loci of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyurol'ka megadepression // *Russian Geology and Geophysics*. – 2006. – V. 47. – № 6. – P. 734–745.
23. Лобова Г.А., Попов С.А., Фомин А.Н. Локализация прогнозных ресурсов нефти курско-меловых НГК Усть-Тымской мегавпадины // *Нефтяное хозяйство*. – 2013. – № 2. – С. 36–40.
24. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.
25. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) / Л.М. Бурштейн, Л.В. Жидкова, А.Э. Конторович, В.Н. Меленевский // *Геология и геофизика*. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.

Поступила 23.04.2015 г.

UDC 553.98:553.041:552.578:550.8.05

DEVELOPMENT OF THE EFFECTIVE TECHNIQUE FOR ASSESSING HYDROCARBON RESOURCES APPLYING THE COMPARATIVE-HISTORICAL METHOD AND GEOTHERMAL AS A NEW METHOD OF EXPLORATION GEOPHYSICS

Albina A. Iskorkina,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: iskorkina.a@mail.ru

Irina V. Brylina,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: ibrylina@yandex.ru

Alla A. Kornienko,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: allaphil@tpu.ru

Valeriy I. Isaev,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: isaevvi@tpu.ru

The relevance of the research is caused by the need to improve a technique of assessing the hydrocarbon resources by the volume and genetic method based on paleoreconstruction of geotemperature mode of petromaternal deposits.

The main aim of the research is to assess the influence of the century course of temperatures on Earth surface on geothermal mode of petromaternal deposits of the southeast of Western Siberia, on the extent of realization of their generative potential.

Objects of researches: average annual temperatures in the Mesozoic and the Cenozoic of the southern paleoclimatic zone of Western Siberia, Bazhenov deposits of the Mesozoic and Cenozoic section opened with deep wells at latitudes of Tomsk and Novosibirsk areas.

Methods of researches: the analytical report of reconstruction of the century course of temperatures on a day surface in the Mesozoic Cenozoic executed with application of an actualistic method; a method of paleotemperature modeling for a quantitative assessment of influence of a paleoclimate factor on the geothermal mode of maternal deposits and intensity of generation of hydrocarbons.

Research results. The authors have carried out the geographical and geochronological generalization of the data on the century course of temperatures on Earth surface of the southeast of Western Siberia published in the period of 1974–2011. The data were obtained by a number of authors on the basis of the comparative-historical analysis of sedimentary thicknesses lithology, flora areas, and materials of isotope and magnesia thermometry. For the southern paleoclimatic zone (Tomsk, Novosibirsk and Omsk areas) the «local» century course of temperatures on a terrestrial surface, since the Jurassic time, was constructed. By geotemperature criterion the authors allocated the centers of intensive generation of Bazhenov oil by paleotemperature modeling of sedimentary cover, including petromaternal deposits; calculated and analyzed the distribution of oil resources relative density. The quantitative assessment of paleoclimate influence on geothermal mode and extent of realization of generative capacity of the Bazhenov suite, the hydrocarbons of petroleum potential complexes of Tomsk and Novosibirsk oil fields forming deposits was obtained. It is shown that without considering paleoclimate it is impossible to restore adequately thermal history of maternal deposits that may underestimate to 2 times or more the value of the estimated resources by a volume and genetic method. Use of the «local» century course of temperatures on the Earth surface increases the efficiency of technology for defining the expected resources, allows considering more correctly the history of the main phase of oil formation, both without overestimating/underestimating (to 30–40 %) the settlement resources. The paper demonstrates the continuity and scientific and practical importance of combination of a comparative-historical (actualistic) method of classical geology and a new method of exploration geophysics – geothermics – when solving the problems of assessing hydrocarbon resources.

Key words:

Effective technique, resources of hydrocarbon, paleoclimat, actualistic method, bazhenov suite, method of paleotemperature modeling, southeast of Western Siberia.

REFERENCES

1. Layel Ch. *Osnovnye nachala geologii* [Main beginnings of geology]. Moscow, A.I. Glazunova of Publ., 1868. 562 p.
2. 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* [Geothermic of the Arctic seas]. Ed. by Yu.G. Leonov. Moscow, GEOS Publ., 2013. 232 p.
3. Sungurova O.G., Mazurov A.K., Isaev V.I. Resursoeffektivnaya strategiya poiskov zalezhey nefi v doyrskom osnovanii Zapadnoy Sibiri [Resource efficient search strategies of oil deposits in the pre-Jurassic base of Western Siberia]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 1, pp. 147–154.
4. 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-Hatangского бассейна [Modeling of generation, migration and accumulation of hydrocarbons in the Jurassic and cretaceous complexes of the Yenisei-Hatangsky pool]. *Geologiya nefi i gaza – Geology of oil and gas*, 2011, no. 5, pp. 48–55.
5. Malyshev N.A., Obmetko V.V., Borodulin A.A. Opyt primeneniya tekhnologii basseynovogo modelirovaniya v OAO «NK-Rosneft» dlya otsenki perspektiv neftegazonosnosti akvatorii i vybora novykh napravleniy geologorazvedochnykh rabot [Experience of applying the basin modeling technology in JSC Oil Company Rosneft to assess the prospects of oil-and-gas content of water areas and to select new directions in prospecting works]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2012, no. 11, pp. 14–17.
6. Golovanova I.V., Salmanova R.Yu., Tagirova Ch.D. Metodika rascheta glubinykh temperatur s uchedom ispravlenykh na vliyaniye paleoklimata znacheniy teplovogo potoka [Method for deep-temperature estimation with regard to the paleoclimate influence on the heat flow]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 9, pp. 1426–1435.
7. Vogt C., Mottaghy D., Rath V., Marquart G., Dijkshoorn L., Wolf A., Clauser C. Vertikal variation in heat flow on the Kola Peninsula: palaeoclimate or fluid flow? *Geophysical Journal International*, 2014, vol. 199, pp. 829–843.
8. Lobova G.A., Osipova E.N., Krinitsina K.A., Ostankova Yu.G. Vliyaniye paleoklimata na geotermicheskiy rezhim i neftegeneratsionny potentsial bazhenovskoy svity (na shirotyakh Tomskoy oblasti) [Influence of paleoclimate on geothermal regime and oil generation potential of the Bazhenov Formation (at latitudes Tomsk region)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 1, pp. 45–50.
9. Lopatin N.V. Kontseptsiya neftegazovykh generatsionno-akkumulyatsionnykh sistem kak integriruyushchee nachalo v obosnovanii poiskovo-razvedochnykh rabot [The concept of oil and gas generative and accumulative systems as the integrating beginning in justification of exploration]. *Geoinformatika*, 2006, no. 3, pp. 101–120.
10. Galushkin Yu.I., Sitar K.A., Kunitsina A.V. Chislennoe modelirovanie preobrazovaniya organicheskogo veshchestva osadochnykh gornykh porod severo-vostochnogo shelfa Sakhalina [Numerical modeling of sedimentary rock organic substance transformation in the northeast shelf of Sakhalin]. *Oceanology*, 2011, vol. 51, no. 3, pp. 521–531.
11. Golbert A.B., Grigoreva K.N., Ilenok L.L., Markova L.G., Skuratenko A.B., Teslenko Yu.V. *Paleoklimaty Sibiri v melovom i paleogenovom periodakh* [Paleoclimate of Siberia in the cretaceous and Paleogene periods]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 107 p.
12. Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Malyshev N.A., Safronov P.I., Guskov S.A., Ershov S.V., Kazanekov 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 mezozoyско-kaynozoyском osadochnom basseynе Karskogo morya (basseynovoe modelirovanie) [Historical and geological modeling of naftidogenesis in Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin of the Kara Sea (basin modeling)]. *Geologiya i Geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 1179–1226.
13. Sharbatian F.F. *Ekstremalnye otsenki v geotermii i geokriologii* [Extreme estimates in the geothermic and cryopedology]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 123 p.
14. Zubakov V.A. *Globalnye klimaticheskie sobytiya neogena* [Global climatic events of the Neogene]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990. 223 p.
15. Volkova V.S. Stratigrafiya i trend paleotemperatur v paleogene i neogene Zapadnoy Sibiri (po dannym palinologii) [Stratigraphy and paleotemperatures trend in the Paleogene and Neogene of Western Siberia (according to palynology)]. *Geologiya i Geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 7, pp. 906–915.
16. Yasamanov N.A. Rekonstruktsii klimaticheskikh usloviy mezozoya i kaynozoya Yuga SSSR [Reconstruction of climatic conditions of the Mesozoic and Cenozoic of the South of the USSR]. *Metody rekonstruktsii paleoklimatov* [Methods of reconstruction of paleoclimate]. Moscow, Nauka Publ., 1985. pp. 179–184.
17. Golbert A.V. *Osnovy regionalnoy paleoklimatologii* [Bases of regional paleoclimatology]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 222 p.
18. Isaev V.I., Rylova T.B., Gumerova A.A. Paleoklimat Zapadnoy Sibiri i realizatsiya generatsionnogo potentsiala neftematerinskikh otlozheniy [Paleoclimate of Western Siberia and realization of generative potential of petromaternal deposits]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 93–102.
19. 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.
20. 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.
21. Osipova E.N., Lobova G.A., Isaev V.I., Starostenko V.I. Neftegazonosnost nizhnemelovykh rezervuarov nyurolskoy megavpadiny [Petroleum potential of the Lower Cretaceous reservoirs of Nyurol'ka megadepression]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 1, pp. 14–33.
22. Isaev V.I., Fomin A.N. Loci of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyurol'ka megadepression. *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 6, pp. 734–745.
23. Lobova G.A., Popov S.A., Fomin A.N. Lokalizatsiya prognoznykh resursov nefi yursko-melovykh neftegazonosnykh kompleksov Ust-Tymskoy megavpadiny [Probable oil resource localization for Jurassic and Cretaceous oil-and-gas complexes of the Ust-Tym megadepression]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2013, no. 2, pp. 36–40.
24. Kontorovich V.A. *Tektonika i neftegazonosnost mezozoyско-kaynozoyских otlozheniy yugo-vostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Tectonics and oil-and-gas petroleum potential of the Mesozoic-Cenozoic deposits in southeastern regions of West Siberia]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2002. 253 p.
25. Burshteyn L.M., Zhidkova L.V., Kontorovich A.E., Melenevskiy V.N. Model katageneza organicheskogo veshchestva (na primere bazhenovskoy svity) [The model of katagenesis of organic matter (by the example of Bazhenov Formation)]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1997, vol. 38, no. 6, pp. 1070–1078.

Received: 23 April 2015.