

УДК 553.98(571)

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ НЕФТЕМАТЕРИНСКОЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Искоркина Альбина Альбертовна^{1,2},
iskorkina.a@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Томский филиал ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу»,
Россия, 634034, г. Томск, ул. Мокрушина, 9, стр. 16.

Актуальность. Земли Арктического региона Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции имеют уникальные палеоклиматические особенности, обуславливающие необходимость совершенствовать схемы и параметры количественной оценки ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом, основанным на палеореконструкциях геотермического режима материнских отложений.

Цель исследования: обобщить известные данные о мезозойско-кайнозойском климате северной части Западной Сибири и оценить влияние факторов палеоклимата – векового хода температур на земной поверхности и неоплейстоценовых толщ мерзлоты – на расчетный геотермический режим нефтематеринских свит, определяющий подсчет плотности ресурсов.

Объект исследования: баженовские отложения мезозойско-кайнозойского разреза, вскрытого глубокой скважиной 11 на Арктической площади (п-ов Ямал).

Методика исследования: системный анализ и построение векового хода палеоклиматических параметров; палеотемпературное моделирование, учитывающее параметры седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи.

Результаты. Выполнена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур на поверхности Земли и динамики мощности неоплейстоценовой мерзлоты северной палеоклиматической зоны Западной Сибири; определен «арктический» вековой ход температур на поверхности Земли начиная с юрского времени и вековой ход мощностей мерзлых пород в четвертичное время. Установлено, что учет векового хода температур и толщи мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений. Рекомендуется при определении ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом на землях Арктического региона Западной Сибири применять «арктический» вековой ход температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300–600 метров. В противном случае расчетные ресурсы углеводородов могут быть занижены на 40 %.

Ключевые слова:

Палеоклимат, геотермический режим, баженовские отложения, ресурсы углеводородов, п-ов Ямал.

Введение

Регионы Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции имеют уникальные палеоклиматические особенности [1–5]: 1) мезозойско-кайнозойский вековой ход температур, индивидуальный для региональных палеоклиматических зон; 2) разномасштабные процессы формирования и деградации неоплейстоценовых толщ вечномерзлых пород; 3) зонально и периодические формирующиеся позднечетвертичные ледниковые покровы. В плейстоцене произошло глобальное событие – резкое похолодание климата. Это могло привести к снижению, существенной нестационарности температурного поля во всем осадочном разрезе [6].

Количественная оценка перспектив нефтегазоносности – оценка плотности ресурсов углеводородов и районирование регионов, крупных территорий и зон нефтегазонакопления – выполняется объемно-генетическим методом (бассейновое моделирование). Количество генерированных углеводородов (УВ) рассчитывается на основе реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений [7, 8].

Накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние факторов пале-

оклимата на температурный режим осадочно-вулканогенных и магматических комплексов [9–12]. Опубликованы работы [13 и др.], доказывающие значимость мезозойско-кайнозойского векового хода температур земной поверхности на термическую историю непосредственно нефтематеринских отложений.

Ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов Западной Сибири и других нефтегазоносных провинций, учитывают вековой ход температур на поверхности Земли [14–16 и др.]. Этот ход температур можно условно назвать «стандартным», так как применяется единообразно для разных региональных палеоклиматических зон Сибири.

В работах [17, 18] показано, что при определении ресурсов УВ объемно-генетическим методом на землях юго-востока Западной Сибири предпочтительно применять региональный («местный» [17]) вековой ход температур на земной поверхности, построенный для южной палеоклиматической зоны Западной Сибири. Это позволяет более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования (ГФН) материнских баженовских и тогурских отложений и, как следствие, не завышать/занижать расчетные ресурсы.

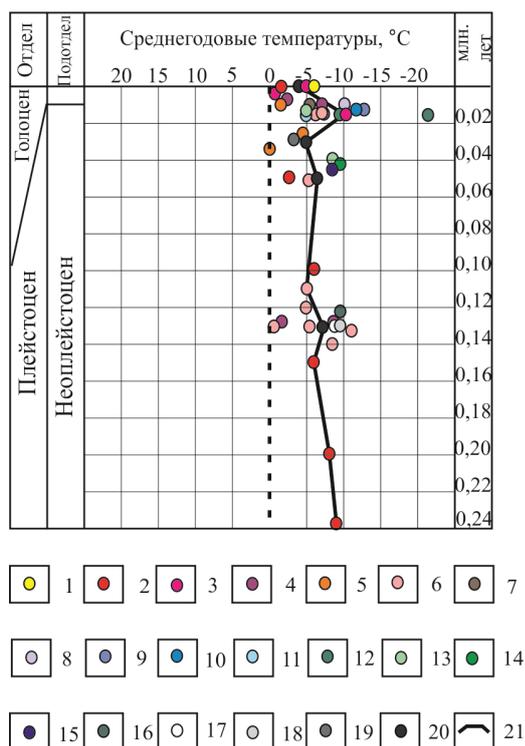


Рис. 1. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в неоплейстоцене и голоцене: 1–19 значения среднегодовых температур: 1 – по В.В. Баулину [21], 2 – по Н.Л. Добрецову и др. [22], 3 – по А.П. Деревянко [23], 4 – по А.В. Гаврилову [24], 5 – по А.А. Шарбатяну [25], 6 – по В.В. Баулину [26], 7 – по Н.А. Шполянкой [27], 8 – по И.Д. Данилову и др. [28], 9 – по В.С. Шейнкману и В.Н. Плюснину [29], 10 – по С.А. Гускову и В.С. Волковой [30], 11 – по В.И. Астахову и Д.В. Назарову [31], 12 – по В.С. Волковой и И.В. Михайлову [32], 13 – по В.И. Астахову [33], 14 – по В.В. Орловой [34], 15 – по В.С. Волковой [35], 16 – по В.А. Сарана [36], 17 – по А.В. Павлову [37], 18 – по А.Э. Конторовичу и др. [7], 19 – по Ю.К. Васильчук и др. [38]; 20 – осредненные значения; 21 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

Fig. 1. Century course of temperature on the Earth's surface of the northern paleoclimate zone of Western Siberia in Pleistocene and Holocene: 1–19 the mean annual temperature: 1 – after V.V. Baulin [21], 2 – N.L. Dobretsov et al. [22], 3 – A.P. Derevyanko [23], 4 – A.V. Gavrilov [24], 5 – A.A. Sharbatyan [25], 6 – V.V. Baulin [26], 7 – N.A. Shpolyanskaya [27], 8 – I.D. Danilov et al. [28], 9 – V.S. Sheynkman and V.M. Plyusnin [29], 10 – S.A. Guskov and V.S. Volkova [30], 11 – V.I. Astakhov and D.V. Nazarov [31], 12 – V.S. Volkova and I.V. Михайлова [32], 13 – V.I. Astakhov [33], 14 – V.V. Orlova [34], 15 – V.S. Volkova [35], 16 – V.A. Sarana [36], 17 – A.V. Pavlov [37], 18 – A.E. Kontorovich et al. [7], 19 – Yu.K. Vasilchuk et al. [38]; 20 are the average values; 21 are the piecewise and linear approximation of average annual temperatures

Установлена необходимость учета неоплейстоценовой мерзлоты мощностью порядка 300 метров и применения «местного» (регионального) векового хода температур на земной поверхности для адекватного восстановления термической истории баженов-

ских отложений на землях юго-востока Западной Сибири [19, 20]. Показано, что неучет толщ вечной мерзлоты и палеоклиматического хода температур может приводить к существенным ошибкам в расчете ресурсов УВ объемно-генетическим методом.

Цель настоящих исследований – обобщить известные данные о мезозойско-кайнозойском климате северной части Западной Сибири и определить влияние 1-го и 2-го факторов палеоклимата – арктического мезозойско-кайнозойского векового хода температур на земной поверхности и неоплейстоценовой толщ мерзлоты на реконструкции геотермического режима и оценку степени реализации генерационного потенциала материнских баженовских отложений Арктического региона Западной Сибири.

Построение арктического векового хода палеотемператур на поверхности Земли (северная палеоклиматическая зона Западной Сибири)

Арктический вековой ход температур земной поверхности (северные широты 66°–74°) построен на основе обобщения (сводки по 28-ми опубликованным источникам) экспериментальных определений и палеоклиматических реконструкций для севера Западно-Сибирской низменности, начиная с юрского времени – времени осадконакопления нефтематеринских свит. Для построения приняты осредненные значения среднегодовых температур на земной поверхности, указанные авторами источников в интервалах $\pm(1...2)^\circ\text{C}$.

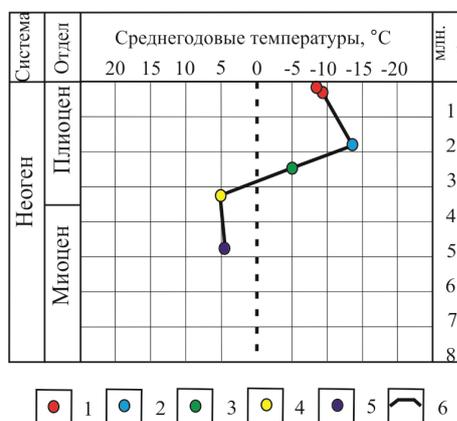


Рис. 2. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в верхнем миоцене и плиоцене: 1–4 значения среднегодовых температур: 1 – по Н.Л. Добрецову и др. [22], 2 – по А.А. Чеховскому [39], 3 – по А.А. Архангелову и Г.Г. Карташовой [40], 4 – по И.М. Лебедевой и др. [41]; 5 – осредненные значения; 6 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

Fig. 2. Century course of temperature on the Earth's surface of the northern paleoclimate zone of Western Siberia in the upper Miocene and Pliocene: 1–4 are the mean annual temperature: 1 – after N.L. Dobretsov and et al. [22], 2 – A.L. Chekhovskiy [39], 3 – A.A. Arkhangelov and G.G. Kartashova [40], 4 – I.M. Lebedeva et al. [41]; 5 are the average values; 6 are the piecewise and linear approximation of average annual temperatures

На рис. 1 изображен ход среднегодовых температур верхнего неоплейстоцена и голоцена, на рис. 2 – ход среднегодовых температур верхнего миоцена и плиоцена, на рис. 3 – ход среднегодовых температур юры, мела, палеогена и миоцена. Так построен арктический (региональный, «местный» для северной палеоклиматической зоны Западной Сибири) вековой ход температур на поверхности Земли, начиная с юрского времени – времени осадконакопления китербютской (тогурской) и баженовской нефтематеринских свит.

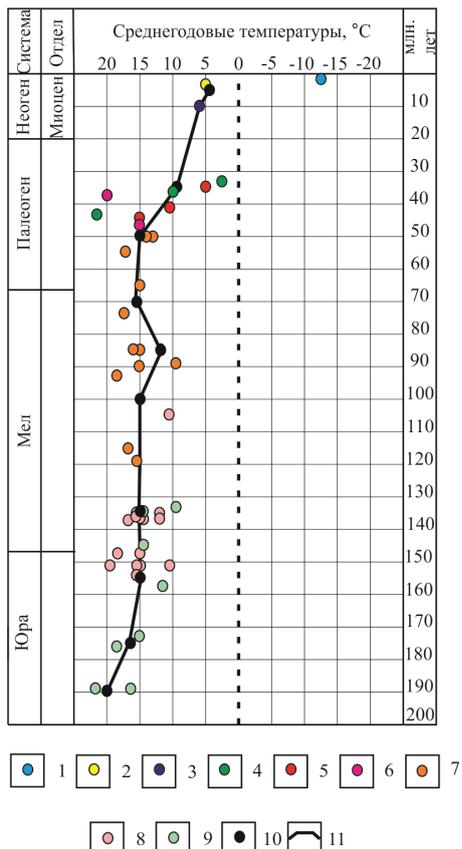


Рис. 3. Вековой ход температуры на поверхности Земли северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в юре, мелу, палеогене и миоцене: 1–9 значения среднегодовых температур: 1 – по А.А. Чеховскому [39], 2 – по И.М. Лебедевой и др. [41], 3 – по В.С. Волковой [35], 4 – по В.С. Волковой [42], 5 – по И.А. Кульковой и В.С. Волковой [43], 6 – по В.С. Волковой и О.Б. Кузминой [44], 7 – по А.В. Гольберту и др. [45], 8 – по А.В. Гольберту и др. [46], 9 – по Т.С. Берлин и др. [47]; 10 – осредненные значения; 11 – кусочно-линейная аппроксимация среднегодовых температур

Fig. 3. Century course of temperature on the Earth's surface of the northern paleoclimate zone of Western Siberia in the Jurassic, Cretaceous, Paleogene and Miocene: 1–9 are the mean annual temperature: 1 – afetr A.L. Chekhovskiy [39], 2 – I.M. Lebedeva [41], 3 – V.S. Volkova [35], 4 – V.S. Volkova [42], 5 – I.A. Kulkova and V.S. Volkova [43], 6 – V.S. Volkova and O.B. Kuzmina [44], 7 – A.V. Golbert et al. [45], 8 – A.V. Golbert et al. [46], 9 – T.S. Berlin et al. [47]; 10 are the average values; 11 are the piecewise and linear approximation of average annual temperatures

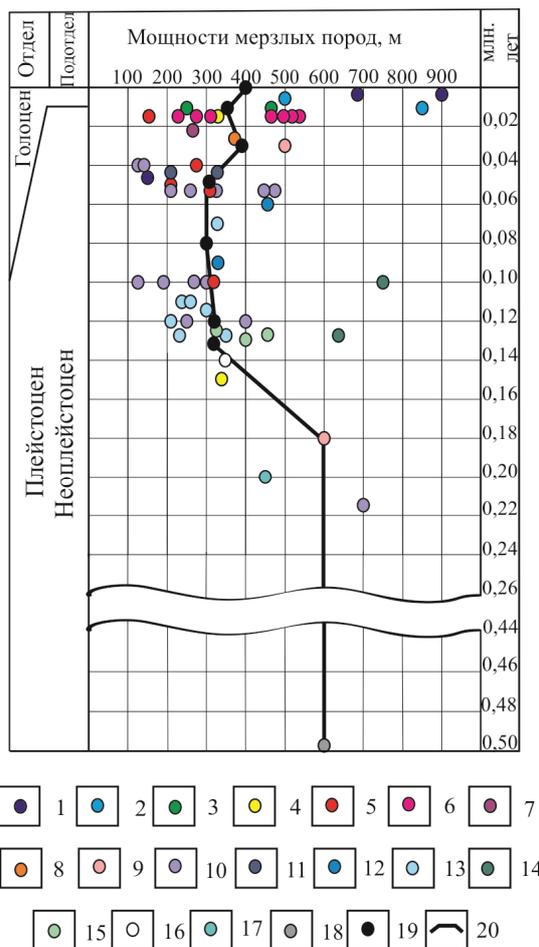


Рис. 4. Вековой ход мощностей вечномерзлых пород северной палеоклиматической зоны Западной Сибири в неоплейстоцене и голоцене: 1–19 значение мощности мерзлых пород: 1 – по А.В. Гаврилову [48], 2 – по Э.Д. Ершову [49], 3 – по А.А. Шарбатян [25], 4 – по Н.А. Шполянской [27], 5 – по А.В. Груздову и др. [50]; 6 – по А.П. Деревянко [23]; 7 – по И.П. Герасимову [51], 8 – по И.Д. Даниловой и др. [28], 9 – по С.М. Фотиеву [52], 10 – по В.В. Баулину [26], 11 – по Ю.Б. Баду [53], 12 – по С.О. Разумову и др. [54], 13 – по В.Т. Трофимову [55], 14 – по Н.Н. Романовскому и В.Е. Тумскому [56], 15 – по В.В. Баулину [57], 16 – по А.А. Свиточ [58], 17 – по А.И. Попову [59], 18 – по С.М. Фотиеву [60], 19 – по В.Т. Трофимову [61]; 20 – осредненные значения; 21 – кусочно-линейная аппроксимация векового хода мощностей вечномерзлых пород

Fig. 4. Century course of capacities of permafrost rocks of the northern paleoclimate zone of Western Siberia in Pleistocene and Holocene: 1–19 are the capacity value of frozen rocks: 1 – after A.V. Gavrillov [48], 2 – E.D. Ershova [49], 3 – A.A. Sharbatian, 4 – N.A. Shpolyanskaya [27], 5 – A.V. Gruzdov et al. [50]; 6 – A.P. Derevyanko [23]; 7 – I.P. Gerasimov [51], 8 – I.D. Danilov et al. [28], 9 – S.M. Fotiev [52], 10 – V.V. Baulin [26], 11 – Yu.B. Badu [53], 12 – S.O. Razumov et al. [54], 13 – V.T. Trofimov [55], 14 – N.N. Romanovsky and V.E. Tumskoy [56], 15 – V.V. Baulin [57], 16 – A.A. Svitoch [58], 17 – A.I. Popov [59], 18 – S.M. Fotiev [60], 19 – V.T. Trofimov [61]; 20 are the average values; 21 are the piecewise and linear approximation of the century course of capacities of permafrost rocks

Построение векового хода мощностей мерзлых пород в неоплейстоцене и голоцене (северная палеоклиматическая зона Западной Сибири)

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

На рис. 4 изображен вековой ход мощностей мерзлых пород в четвертичное время для северной палеоклиматической зоны Западной Сибири, начиная с развития криогенных процессов в неоплейстоцене.

Краткая характеристика объекта исследований

Приводятся результаты моделирования палеогеотемпературных условий нефтематеринских баженовских отложений, выполненного для осадочного разреза глубокой скважины Арктическая 11 (рис. 5, табл. 1). Скважина расположена в пределах Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

Осадочный мезозойско-кайнозойский чехол территории исследования начинает формироваться в ранней юре [62]. Во времена бореальных трансгрессий формируется глинистая толща китербютская (J_1kt), обладающая нефтематеринским потенциалом. К концу волжского века трансгрессия моря расширилась, идет накопление баженовской свиты (J_3+K_2bg), обогащенной органическим веществом [63].

Юрские комплексы Ямальской НГО (включая баженовскую сланцевую формацию) – один из главных объектов потенциального прироста запасов УВ Западно-Сибирской НПП [64].

Согласно фациальному районированию Западно-Сибирской плиты, исследуемая скважина Арктическая 11 расположена в пределах Ямальской фациальной зоны Ямало-Гыданской фациальной области. Посвитная разбивка от подошвы осадочного чехла до верхнего мела, включая березовскую свиту, принята нами по данным ИНГТ СО РАН (2015 г.). Расчленение ниже-среднепалеогеновых свит, от ганькинской до ирбитской, заимствовано из материалов ВСЕГЕИ [65]. Вышележащие толщи расчленены на основе работ [35 и др.].

Генерационный потенциал баженовских отложений в разрезе Южного Ямала обусловлен содержанием рассеянного органического вещества сапропелево-гумусового типа, достаточно высоким содержанием Сорг – от 1 до 2 % (по данным ИНГТ СО РАН, 2016). По отражательной способности витринита ($R_{vi}^0=0,96$ %), в пределах Арктической площади, баженовская свита находится в конце главной зоны нефтеобразования (ГЗН).

Таблица 1. Характеристика разреза скважины Арктическая 11
Table 1. Characteristic of a section of the well Arctic 11

Характеристики/Characteristic	Значение/Value
Забой, м Bottom, m	3624
Отложения на забое (свита) Sediments at the bottom (suite)	Левинская (J_1lv) Levinskaya
Кровля баженовской свиты (J_3+K_2bg), м Roof of Bazhenov suite (J_3+K_{2bg}), m	2792
Мощность баженовской свиты, м Capacity of Bazhenov suite, m	16
Мощность палеогеновых отложений, м Capacity of Paleogene of deposits, m	690
Мощность неоген-четвертичных отложений, м Capacity of the Neogene-Quaternary deposits, m	418
Размыв палеоген-неогеновых отложений (14,5–18,5 млн лет назад), м Scour of the Paleogene-Neogene deposits (14,5–18,5 million years ago), m	535
Размыв неогеновых отложений (4,1–5,4 млн лет назад), м Scour of the Neogene deposits (4,1–5,4 million years ago), m	113
Мощность вечномерзлых пород в плиоцен-квартере (0,52–0,18 млн лет назад), м Capacity of permafrost rocks in the Pliocene-quarter (0,52–0,18 million years ago), m	600
Мощность вечномерзлых пород в плиоцен-квартере (0,18–0,0 млн лет назад), м Capacity of permafrost rocks in the Pliocene-quarter (0,18–0,0 million years ago), m	300
Результаты испытаний верхнеюрских-нижнемеловых пластов Test results of the Upper Jurassic – Lower Cretaceous layers	Не испытывались Not tested
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; температура, °C) Measured reservoir temperatures (suite; measurement depth; temperature, °C)	Левинская/Levinskaya 3533 м (m); 125 Левинская/Levinskaya 3560 м (m); 126
Измеренные температуры по отражательной способности витринита (глубина отбора; R_{vi}^0 ; температура, °C) Measured temperatures by reflective ability of a vitrinite (selection depth; R_{vi}^0 ; temperature, °C)	2000 м (m); (0,65); 100 2500 м (m); (0,80); 120

Методика исследования

Восстановление термической истории материнских баженовских отложений выполняется на основе палеотектонических и палеотемпературных реконструкций. Применен *метод палеотемпературного моделирования*, основанный на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей. В математическую модель непосредственно включены климатический вековой ход температур на земной поверхности, как краевое усло-

вие, и палеотемпературы, определенные по ОСВ как «наблюденные». В модели палеотектонические реконструкции непосредственно сопряжены с палеотемпературными реконструкциями [20, 66, 67].

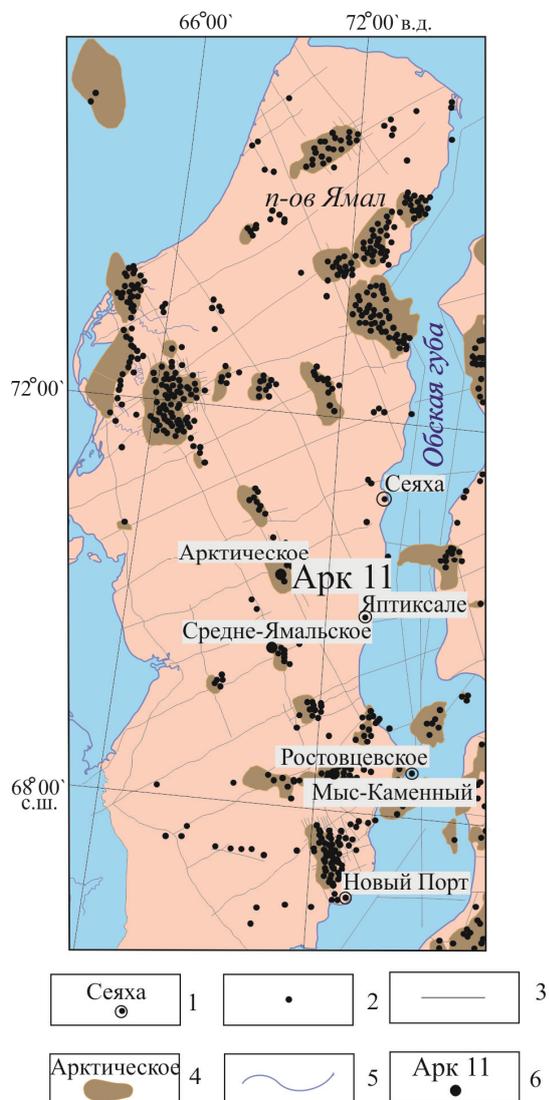


Рис. 5. Обзорная схема территории исследований: 1 – населенный пункт и его название; 2 – поисково-разведочная скважина; 3 – сейсмический профиль работ; 4 – контур месторождения и его название; 5 – гидрография и береговая линия; 6 – моделируемая скважина Арктическая 11 и ее индекс

Fig. 5. Review scheme of the studied area: 1 is the settlement and its name; 2 is the exploration well; 3 is the seismic profile of works; 4 is the contour of the field and its name; 5 is the hydrography and coastline; 6 is the the modelled well Arctic 11 and its index

Параметризация осадочного разреза, вскрытого скважиной, определяющая параметры седиментационной и теплофизической модели, принимается в соответствии с указанной выше стратификацией (табл. 1 и 2). Возраст пород и соответствующие вековые интервалы шкалы геологического времени [68], увязанные с периодами геохроноло-

гической шкалы Стратиграфического кодекса (1992 г.), определяют время и скорость осадконакопления.

Формирование, существование, деградация толщи вечномерзлых пород учитываются как динамичный литолого-стратиграфический комплекс (рис. 4), обладающий аномально высокими значениями теплопроводности λ и температуропроводности a .

Формализованный учет толщи мерзлоты осуществляется, начиная с 0,52 млн лет назад, «мгновенной» (по меркам геологического времени, за 0,3+3,0 тыс. лет) заменой «нормальных» осадочных отложений 600-метровой толщиной мерзлых пород со своими теплофизическими характеристиками – теплопроводность, температуропроводность [69]. Затем эта толщина мерзлых пород в течение 334 тыс. лет перекрывает осадочный чехол. Далее толщина мерзлых пород «мгновенно» (0,3+0,15+0,15 тыс. лет) деградирует в объеме 300 м. И наконец, вечномерзлые породы существуют в объеме 300 м до настоящего времени, т. е. последние 182 тыс. лет.

Первое краевое условие модели определяется температурой поверхности осадконакопления, т. е. палеоклиматом (солярным источником тепла), и задается в виде кусочно-линейной функции «арктического» векового хода температур на поверхности Земли (рис. 1–3).

Схема расчета палеотемператур материнской свиты состоит из двух этапов. На первом по распределению «наблюденных» температур T_i в скважине рассчитывается тепловой поток q через поверхность основания осадочного чехла, т. е. решается обратная задача геотермии. На втором этапе с известным значением q решаются прямые задачи геотермии – непосредственно рассчитываются температуры U в заданных точках осадочной толщи Z (в материнской свите) в заданные моменты геологического времени t .

Для решения обратной задачи геотермии используем в качестве «наблюденных» как измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин, так и палеотемпературы, определенные по ОСВ (табл. 1).

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

Модель процессов нефтегазообразования [70] позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение очагов интенсивного образования нефтей из РОВ материнских отложений.

Количественное определение влияния палеоклимата на расчетный геотермический режим и на оценку степени реализации генерационного потенциала материнских отложений выполняется на ос-

Таблица 2. Параметрическое описание седиментационной истории и теплофизических свойств осадочной толщи, вскрытой скважиной Арктическая 11

Table 2. Parametrical description of sedimentation history and thermal properties of sedimentary strata opened with the well Arctic 11

Свита, толща (стратиграфия) Suite, strata (stratigraphy)	Мощность, м Thickness, m	Возраст, млн лет назад Age, million years ago	Время накопле- ния, млн лет Accumulation time, million years	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Теплопровод- ность, Вт/м·град Thermal conducti- vity, W/m·deg	Температуропо- водность, м ² /с Thermal diffusivi- ty, m ² /s	Тепловыделение, Вт/м ³ Heat generation W/m ³
Квартер+плиоцен Q-N ₂ Quarter+pliocene	–	0,1820–0,00	0,1820	–	–	–	–
	300	0,18215–0,1820	0,00015	2,10	2,09	1,05e-006	1,22e-006
	300	0,1823–0,18215	0,00015	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
	–600	0,1826–0,1823	0,0003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
	–	0,5167–0,1826	0,3341	–	–	–	–
	600	0,5197–0,5167	0,003	2,10	2,09	1,05e-006	1,22e-006
	–600	0,520–0,5197	0,0003	2,10	1,3	7e-007	1,22e-006
	280	4,1–0,520	3,58	2,04	1,29	6,5e-007	1,1e-006
N ₁₋₂	–113	4,1–5,4	1,3	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Новопортовская N ₁₋₂ /Novoportovskaya	50	5,4–8,4	3	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Таволжинская N ₁ /Tavolzhinskaya	25	8,4–12,5	4,1	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Бищеульская bsch N ₁ /Bishcheulskaya	38	12,5–14,5	2	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
N ₁	–535	14,5–18,5	4	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Абросимовская N ₁ /Abrosimovskaya	25	18,5–23,0	4,5	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Туртасская tur P ₃ /Turtasskaya	90	23,0–28,0	5	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Новомихайловская nvm P ₃ /Novomikhaylovskaya	70	28,0–30,0	2	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Атлымская atl P ₃ /Atlymskaya	100	30,0–34,0	4	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Тавдинская tv P ₂ /Tavdinskaya	150	34,0–42,6	8,6	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Нюрольская nl P ₂ /Nyurolskaya	100	42,6–50,4	7,8	2,08	1,33	7e-007	1,2e-006
Ирбитская P ₂ ir/Irbitskaya	20	50,4–55,0	4,6	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Серовская P ₂ sr/Serovskaya	43	55,0–58,0	3	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Тибейсалинская P ₂ tb/Tibeysalinskaya	120	58,0–63,7	5,7	2,09	1,35	7e-007	1,2e-006
Ганькинская K ₂ +Pgn/Gankinskaya	40	63,7–73,0	9,3	2,11	1,37	7e-007	1,25e-006
Березовская K ₂ b/Berezovskaya	136	73,0–89,0	16	2,15	1,41	7,5e-007	1,25e-006
Кузнецовская K ₂ kz/Kuznetsovskaya	31	89,0–92,0	3	2,18	1,43	8e-007	1,25e-006
Марресалинская K ₂ -K ₁ mr/Marresalinskaya	550	92,0–102,0	10	2,26	1,49	8e-007	1,25e-006
Яронгская K ₂ jar/Yarongskaya	690	102,0–108,5	6,5	2,39	1,6	8e-007	1,25e-006
Танопчинская K ₂ tn/Tanopchinskaya	353	108,5–133,2	24,7	2,44	1,62	8e-007	1,25e-006
Ахская K ₂ ah/Akhskaya	529	133,2–142,7	9,5	2,44	1,64	8e-007	1,25e-006
Баженовская J ₃ +K ₂ bg/Bazhenovskaya	16	142,7–149,3	6,6	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Нурминская J ₂ nr/Nurminskaya	65	149,3–161,7	12,4	2,42	1,62	8e-007	1,3e-006
Мальшевская J ₂ ml/Malyshevskaya	95	161,7–171,0	9,3	2,45	1,63	8e-007	1,3e-006
Леонтьевская J ₂ ln/Leontyevskaya	130	171,0–173,0	2	2,47	1,65	8e-007	1,3e-006
Вымская J ₂ vm/Vymskaya	127	173,0–175,0	2	2,45	1,63	8e-007	1,3e-006
Лайдинская J ₂ ld/Laydinskaya	75	175,0–177,0	2	2,47	1,65	8e-007	1,3e-006
Надояхская J ₁ +J ₂ nd/Nadoyakhskaya	95	177,0–182,5	5,5	2,45	1,63	8e-007	1,3e-006
Китербютская (тогурская) J ₂ kt/Kiterbyutskaya (togurskaya)	39	182,5–184,0	1,5	2,47	1,65	8e-007	1,3e-006
Шараповская J ₁ shr/Sharapovskaya	50	184,0–186,0	2	2,45	1,63	8e-007	1,3e-006
Левинская J ₁ lv/Levinskaya	140	186,0–186,7	0,7	2,47	1,65	8e-007	1,3e-006
Мощность разреза, м/Section thickness, m	3624	–	–	–	–	–	–

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

Note. Accumulation time of Kiterbyutskaya (Togurskaya) and Bazhenov petromaternal suites and their parametric description are filled with brown. Erosion of the Paleogene-Neogene deposits is filled with grey. Times of «instant» formation and «instant» degradation of the Neo Pleistocene permafrost thickness are filled with blue. Time of existence of permafrost thickness is filled with dark blue.

нове анализа variability результатов четырех вариантов палеотемпературных реконструкций: *вариант 1* – без учета факторов палеоклимата; *вариант 2* – с учетом «стандартного» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты; *вариант 3* – с учетом «арктического» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты; *вариант 4* – с учетом «арктического» векового хода температур, динамики неоплейстоценовой мерзлоты.

Основным критерием адекватности и предпочтительности результатов из четырех вариантов выступает оптимальная согласованность максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна оптимальная согласованность («невязка») расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. Оптимальная «невязка» – это средняя квадратичная разность расчетных и наблюдаемых значений, равная погрешности «наблюдений» [71]. Эта погрешность порядка $\pm 2^\circ\text{C}$.

Для сопоставительной оценки результатов вариантов моделирования для каждого варианта реконструкции термической истории материнской свиты рассчитывается интегральный показатель R [17, 19, 20, 72]:

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

где U_i – расчетная геотемпература очага генерации нефти, $^\circ\text{C}$; t_i – интервальное время действия очага – нахождения материнских отложений в ГЗН, млн лет; количество временных интервалов n определено числом интервалов геологического времени нахождения материнских отложений в ГЗН.

Влияние палеоклимата на расчетный геотермический режим и оценку степени реализации генерационного потенциала баженовских отложений Ямала

Анализ расчетных значений плотности теплового потока q из основания осадочного разреза (табл. 3) показывает следующее. В вариантах 1, 3 и 4 тепловой поток увеличивается на 1,7–2,3–4,3 мВт/м² по отношению к расчетному значению теплового потока *варианта 2* – 54,1 мВт/м².

Анализ термической истории баженовской свиты (табл. 3) в разрезе скважины Арктическая 11 свидетельствует о том, что в *варианте 1* (без учета палеоклимата, т. е. без учета векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты) материнская свита «пережила» самую короткую и самую «холодную» главную фазу нефтеобразования (ГФН).

В *вариантах 2, 3 и 4* (с учетом палеоклимата) баженовская свита имеет «богатые» термические истории ГФН. Главные фазы нефтеобразования этих вариантов имеют разные значения абсолютных максимумов палеотемператур, а также содержат относительно максимумы геотемператур в геологическом прошлом.

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

Сопоставление расчетных и «наблюденных» геотемператур в скважине приведено в табл. 4. Так как «наблюденные» (измеренные) температуры (включая определенные по ОСВ) имеют погрешность порядка $\pm 2^\circ\text{C}$, то *варианты 1 и 2* решений

Таблица 3. Расчетные геотемпературы баженовской свиты в разрезе скважины Арктическая 11

Table 3. Calculated geotemperatures of the Bazhenov suite in a section of the well Arctic 11

Время, млн лет назад Time, million years ago	Вековой ход Century course, $^\circ\text{C}$		Глубина положения баженовской свиты, м Bazhenov suite basement depth, m	Геотемпературы баженовской свиты, $^\circ\text{C}$ Bazhenov suite geotemperatures, $^\circ\text{C}$			
	«Арктический» «Arctic»	«Стандартный» «Standard»		Вариант/Reconstruction			
				1	2	3	4
0	-4	0	2800	107	104	101	98
0,015	-10	-2	2798	107	103	101	97
0,030	-5	-4	2798	107	102	100	97
0,050	-7	-1	2797	107	103	100	96
0,070	-4	-4	2795	107	103	100	96
0,110	-5	-4	2792	107	103	100	95
0,130	-7	-1	2791	107	103	99	94
0,150	-6	-4	2790	107	104	99	94
0,1820	-7	-6	2788	107	104	99	94
0,18215	-7	-6	2788	107	103	98	105
0,1823	-7	-7	2788	107	103	98	116
0,1826	-7	-7	2788	107	103	98	116
0,200	-8	-7	2786	106	104	98	94
0,240	-9	-10	2784	106	105	98	94
0,5167	-10	-6	2765	106	105	96	100
0,5197	-11	-5	2765	106	105	96	115
0,520	-11	-5	2764	106	105	96	100

Окончание табл. 3

Table 3

Время, млн лет назад Time, million years ago	Вековой ход Century course, °C		Глубина положения баженовской свиты, м Bazhenov suite basement depth, m	Геотемпературы баженовской свиты, °C Bazhenov suite geotemperatures, °C			
	«Арктический» «Arctic»	«Стандартный» «Standard»		Вариант/Reconstruction			
				1	2	3	4
1,8	-13	-3	2677	102	102	93	96
3,2	+5	-2	2581	97	98	103	107
4,1	+4	+3	2520	96	97	102	105
4,9	+4	+5	2590	98	100	104	107
5,4	+4	+5	2633	100	102	105	109
8,4	+5	+9	2583	98	101	104	108
10	+6	+9	2573	97	102	105	108
12,5	+6	+10	2558	96	102	104	107
14,5	+6	+10	2520	97	103	104	107
18,5	+7	+11	3055	119	125	128	132
23	+8	+4	3030	118	119	127	131
28	+8	+8	2940	114	118	123	127
30	+9	+10	2870	111	116	120	124
34	+9	+11	2770	106	115	116	120
35	+9	+14	2752	105	116	116	119
42,6	+12	+20	2620	100	117	113	116
50	+15	+21	2525	95	114	112	114
50,4	+15	+21	2520	95	114	111	114
55	+15	+21	2500	94	112	110	114
58	+16	+20	2457	92	110	109	112
63,7	+16	+19	2337	87	104	104	107
70	+16	+19	2310	86	103	103	106
73	+15	+19	2297	85	102	101	104
85	+13	+19	2195	81	98	95	97
89	+13	+20	2161	79	97	94	97
92	+13	+20	2130	78	96	93	95
100	+15	+22	1690	61	80	76	78
102	+15	+22	1580	56	76	72	74
108,5	+15	+22	890	31	52	47	48
120	+16	+22	726	26	46	42	43
134	+15	+21	492	17	38	32	33
135	+15	+22	437	15	36	30	31
142,5	+15	+22	19	1	23	16	16
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м ² /Design basement heat flow, mW/m ²				55,7	54,1	56,4	58,4

Примечание. Вариант 1 – без учета факторов палеоклимата. Вариант 2 – с учетом «стандартного» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 3 – с учетом «арктического» векового хода температур, без учета неоплейстоценовой мерзлоты. Вариант 4 – с учетом «арктического» векового хода температур и динамики неоплейстоценовой мерзлоты. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, серой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН.

Note. Reconstruction 1 – excluding paleoclimate factors. Reconstruction 2 – considering «standard» century course of temperatures, without Neo Pleistocene permafrost. Reconstruction 3 – considering «arctic» century course of temperatures, without Neo Pleistocene permafrost. Reconstruction 4 – considering «arctic» century course of temperatures and dynamics of Neo Pleistocene permafrost. Shaded areas indicate temperatures of the major oil generation zone (OGZ) [7], dark-colour shading indicates absolute OGZ paleotemperature maxima, grey shading – relative OGZ paleotemperature maxima.

нельзя признать приемлемыми. В этих вариантах среднеквадратическое отклонение в 2 раза больше оптимальных значений, а разница с ОСВ достигает 5...11 °C.

В случае учета палеоклимата (варианты 3 и 4) как «невязки» для пластовых температур, так и сходимость с «максимальным палеотермометром» оптимальны и примерно равноценны. Таким образом, сопоставление измеренных и расчетных геотемператур позволяет заключить, что по критерию

«невязки» результаты вариантов 3 и 4 приемлемы и равноценны. Учет «арктического» векового хода температур и неоплейстоценовой мерзлоты позволяет достаточно корректно восстановить термическую историю баженовских отложений.

Расчет интегрального показателя R (табл. 5) – экспресс-расчет плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей – дает максимальное значение для приемлемого варианта 4 (102 усл. ед.). В этом варианте, помимо учета «арктического» ве-

Таблица 4. Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Арктическая 11

Table 4. Comparison of the measured and calculated geotemperatures in the well Arctic 11

Глубина, м Depth, m	Измеренные температуры, °C Measured («observed») temperatures, °C	Способ измерения Measurement method	Вариант/Reconstruction							
			1		2		3		4	
			Значение Value	Разница Discrepancy	Значение Value	Разница Discrepancy	Значение Value	Разница Discrepancy	Значение Value	Разница Discrepancy
2000	100	по OCB on OSV	91	-9	97	-3	99	-1	102	+2
2500	120		109	-11	115	-5	117	-3	121	+1
3533	125	пластовые in-place	133	+8	128	+3	126	+1	124	-1
3560	126		133	+7	129	+3	127	+1	125	-1
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), °C Mean squared error («true error»), °C			±9		±4		±2		±1	

кового хода температур на дневной поверхности, учтена динамика неоплейстоценовой мерзлоты. Указанное максимальное значение примерно то же, что и в *варианте 3* (99 усл. ед.), в котором учтен только один фактор палеоклимата – вековой ход температур, и он на 40 % больше, чем в *варианте 1* (72 усл. ед.), в котором не учтен ни один фактор палеоклимата.

Таблица 5. Расчет интегрального показателя R, дающего экспресс-оценку плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей (скважина Арктическая 11)

Table 5. Calculation of the integrated indicator R giving the express assessment of density of resources of the generated Bazhenov oil (well Arctic 11)

Вариант палеотемпературного моделирования Scenario of paleo temperature modeling	Экспресс-расчет ресурсов (R), усл. ед. Express calculation of resources (R), cu.	Количество расчетных временных интервалов (n) Number of calculated time intervals (n)	Период работы палеоочага, млн лет назад Period of paleo kitchen, m years ago	Время работы палеоочага, млн лет Duration of kitchen zone activity, million years	Максимальные геотемпературы палеоочага, °C Peak temperatures of paleo kitchen zone, °C
Вариант 1 Reconstruction 1	72	33	73,0-0	73,0	119
Вариант 2 Reconstruction 2	99	36	92,0-0	92,0	125
Вариант 3 Reconstruction 3	99	36	92,0-0	92,0	128
Вариант 4 Reconstruction 4	102	36	92,0-0	92,0	132

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

Выводы

1. Поставлена задача исследования роли 2-х факторов палеоклимата Арктического региона Западной Сибири (1-го – векового хода температур на поверхности Земли, 2-го – формирования и деградации неоплейстоценовой толщи вечномерзлых пород) в реконструкциях геотермического режима нефтематеринских отложений и в расчете степени реализации их генерационного потенциала.
2. Проведена географическая и геохронологическая увязка данных о вековом ходе температур на поверхности Земли и динамики мощности неоплейстоценовой мерзлоты северной палеоклиматической зоны Западной Сибири. Определены «арктический» вековой ход температур на поверхности Земли, начиная с юрского времени, и вековой ход мощностей мерзлых пород в четвертичное время.
3. Принята методика исследования, которая основывается: 1) на палеотемпературном моделировании, учитывающем параметры седиментационной истории и истории теплофизических свойств осадочной толщи, измеренные пластовые температуры и палеотемпературы, определенные по данным OCB; 2) на анализе результатов многовариантных палеотектонических и палеотемпературных реконструкций; 3) на оценке соответствия результатов общепринятым критериям оптимальности решения обратной задачи геофизики.
4. На примере нефтематеринских баженовских отложений мезозойского-кайнозойского разреза скважины Арктическая 11 (п-ов Ямал) установлено, что неучет векового хода температур на поверхности Земли и толщи неоплейстоценовой мерзлоты не позволяет адекватно восстановить термическую историю материнских отложений.
5. При определении ресурсов углеводородов объёмно-генетическим методом на землях Арктического региона Западной Сибири предпочтительно применять «арктический» вековой ход температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты мощностью 300–600 м-

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

Автор благодарит д. г.-м. н. В.И., Исаева, д. г.-м. н. Г.А. Лобову, д. г.-м. н. А.Н. Фомина за помощь в подборе фак-

тических геолого-геофизических материалов, консультации и обсуждение результатов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00080 мол.а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольберт А.В. Основы региональной палеоклиматологии. – М.: Недра, 1987. – 222 с.
2. Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 134 с.
3. Kienast F.W., Sigert C., Mai D.-H. Climatic implications of Late Quaternary plant macrofossil assemblages from the Taymyr Peninsula, Siberia // Global Planetary Change. – 2001. – V. 31. – № 1–4. – P. 263–280.
4. Middle Weichselian environments on western Yamal Peninsula, Kara Sea, based on pollen records / A.A. Andreev, S.L. Forman, Y. Inglyfsson, W.F. Manley // Quat. Res. – 2006. – V. 65. – P. 275–281.
5. Episodic fresh surface waters in the Eocene Arctic Ocean / H. Brinkhuis, S. Schouten, M. Collinson, A. Sluijs, J.S. Sinninghe Damsté, G.R. Dickens, M. Huber, T.M. Cronin, J. Onodera, K. Takahashi, J.P. Bujak, R. Stein, J. van der Burgh, J.S. Eldrett, I.C. Harding, A.F. Lotter, F. Sangiorgi, H. van Konijnenburg-van Cittert, J.W. de Leeuw, J. Matthießen, J. Backman, K. Moran // Nature. – 2006. – V. – 441. – P. 606–609.
6. Kurchikov A.R. The geothermal regime of hydrocarbon pools in West Siberia // Russian Geology and Geophysics. – 2001. – V. 42. – № 11–12. – P. 678–689.
7. Historical-geological modeling of hydrocarbon generation in the mesozoic–cenozoic sedimentary basin of the Kara sea (basin modeling) / A.E. Kontorovich, L.M. Burshtein, N.A. Malyshev, P.I. Safronov, S.A. Gus'kov, S.V. Ershov, V.A. Kazanenko, N.S. Kim, V.A. Kontorovich, E.A. Kostyreva, V.N. Melenevsky, V.R. Livshits, A.A. Polyakov, M.B. Skvortsov // Russian Geology and Geophysics. – 2013. – V. 54. – № 8. – P. 1179–1226.
8. Tissot B. Preliminary Data on the Mechanisms and Kinetics of the Formation of Petroleum in Sediments. Computer Simulation of a Reaction Flowsheet // Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. – 2003. – V. 58. – № 2. – P. 183–202.
9. Low geothermal heat flow of the Urals fold belt – implication of low heat production, fluid circulation or palaeoclimate? / I.T. Kukkonen, I.V. Golovanova, Yu.V. Khachay, V.S. Druzhinin, A.M. Kosarev, V.A. Scharov // Tectonophysics. – 1997. – V. 276. – P. 63–85.
10. Golovanova I.V., Salrmanova R.Yu., Tagirova Ch.D. Method for deep-temperature estimation with regard to the paleoclimate influence on the heat flow // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – V. 55. – № 9. – P. 1426–1435.
11. 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.
12. Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A. Reconstructions of long-term ground surface heat flux changes from deep-borehole temperature data // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – V. 55. – № 12. – P. 1841–1846.
13. Iskorkina A., Isaev V., Terre D. Assessment of Mesozoic-Cainozoic climate impact on oil-source rock potential (West Siberia) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – № 27. – 012023. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012023/pdf> (дата обращения: 11.11.2015).
14. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный мир, 2007. – 456 с.
15. Попов С.А., Исаев В.И. Моделирование нафтидогенеза Южного Ямала // Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33. – № 2. – С. 80–104.
16. 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.
17. Исаев В.И., Искоркина А.А. Мезозойско-кайнозойский ход температур на поверхности Земли и геотермический режим юрских нефтематеринских отложений (южная палеоклиматическая зона Западной Сибири) // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36. – № 5. – С. 64–80.
18. Исаев В.И., Лобова Г.А., Фомин А.Н. Влияние палеоклимата на геотермический режим баженовских отложений юго-востока Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 3 – С. 4–11.
19. Исаев В.И. Оценка влияния толщ вечной мерзлоты позднечетвертичного климатического похолодания на геотермический режим нефтематеринских отложений Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/12/21_2015.pdf (дата обращения: 26.05.2015).
20. Позднечетвертичная вечная мерзлота как фактор геотермического режима и реализации нефтегенерационного потенциала баженовской свиты (Томская и Новосибирская области) / А.А. Искоркина, А.К. Исагалиева, О.С. Исаева, В.Ю. Косыгин, В.И. Исаев // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 10. – С. 6–23.
21. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности / В.В. Баулин, Е.Б. Белопухова, Г.И. Дубиков, Л.М. Шмелев. – М.: Наука, 1967. – 213 с.
22. Добрецов Н.Л., Зыкин В.С., Зыкина В.С. Структура лессово-почвенной последовательности плейстоцена Западной Сибири и ее сопоставление с Байкальской и глобальными летописями изменения климата // Доклады Академии наук. Серия: География. – 2003. – Т. 391. – № 6. – С. 821–824.
23. Глобальные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / отв. ред. А.П. Деревянко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 511 с.
24. Гаврилов А.В. Криолитозона арктического шельфа Восточной Сибири (современное состояние и история развития в среднем плейстоцене-голоцене): автореф. дис. ... д.г.-м.н. наук. – М., 2008. – 28 с.
25. Шарбатян А.А. Экстремальные оценки в геотермии и геокриологии. – М.: Наука, 1974. – 123 с.
26. Баулин В.В. Многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР. – М.: Недра, 1985. – 176 с.
27. Шполянская Н.А. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 167 с.
28. Возраст мерзлых отложений и изотопный состав залежей подземных льдов полуострова Ямал (север Западной Сибири) / И.Д. Данилов, О.Б. Парунин, В.А. Марьенко, А.Б. Чугунов // Геохронология четвертичного периода. – М.: Наука, 1992. – С. 118–124.

29. Шейнкман В.С., Плюснин В.М. Оледенение севера Западной Сибири – спорные вопросы и пути их решения // *Лед и снег*. – 2015. – Т. 55. – № 1. – С. 103–120.
30. Гусков С.А., Волкова В.С. История геологического развития арктических районов Западно-Сибирской геосинеклизы в кайнозойское время // *ИНТЕРЭКСПО Гео-Сибирь*. – 2014. – Т. 2. – № 2. – С. 1–4.
31. Астахов В.И., Назаров Д.В. Стратиграфия верхнего неоплейстоцена севера Западной Сибири и ее геохронометрическое обоснование // *Региональная геология и металлогения*. – 2010. – № 43. – С. 36–47.
32. Volkova V.S., Mikhailova I.V. Environment and climate in the last (sartan) glaciation in West Siberia (according to palynological evidence) // *Russian Geology and Geophysics*. – 2001. – № 4. – P. 678–689.
33. Astakhov V.I. Chronostratigraphic subdivisions of the Siberian upper Pleistocene // *Russian Geology and Geophysics*. – 2006. – V. 47. – № 11. – P. 1186–1199.
34. Орлова В.В. Климат СССР. Западная Сибирь. – Л.: Гидрометиздат, 1962. – 359 с.
35. Volkova V.S. Paleogene and neogene stratigraphy and paleotemperature trend of West Siberia (from palynological data) // *Russian Geology and Geophysics*. – 2011. – V. 52. – № 7. – P. 709–716.
36. Сарана В.А. Ледники Плато Путорана // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. – 2005. – № 6. – С. 47–54.
37. Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // *Криосфера Земли*. – 2008. – Т. XII. – № 3. – С. 22–27.
38. Васильчук Ю.К., Серова А.К., Трофимов В.Т. Новые данные об условиях накопления каргинских отложений на севере Западной Сибири // *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода*. – 1984. – № 53. – С. 28–35.
39. Чеховский А.Л. Влияние складчатых структур осадочного чехла на поведение нижней границы многолетнемерзлых пород // *Труды ПНИИИС*. – 1975. – Вып. 36. – С. 65–73.
40. Архангелов А.А., Карташова Г.Г. Палеогеография Колымской низменности в позднем плиоцене // *Климаты Земли в геологическом прошлом*. – М.: Наука, 1987. – 229 с.
41. Оледенения и ледниковый сток горных стран северного полушария при глобальных потеплениях по палеоклиматическим сценариям / И.М. Лебедева, В.М. Котляков, М.Д. Ананичева, Ю.М. Кононов, И.В. Давидович // *Информационный бюллетень РФФИ. Науки о Земле*. – 1999. – Вып. 7. URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_127357 (дата обращения: 18.08.2016).
42. Volkova V.S. Geologic stages of the paleogene and neogene evolution of the Arctic shelf in the Obr region (West Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*. – 2014. – V. 55. – № 4. – P. 619–633.
43. Кулькова И.А., Волкова В.С. Ландшафты и климат Западной Сибири в палеогене и неогене // *Геология и геофизика*. – 1997. – Т. 38. – № 3. – С. 581–595.
44. Volkova V.S., Kuz'mina O.B. Flora, vegetation, and climate of the middle cenophytic (paleocene-eocene) of Siberia: palynological data // *Russian Geology and Geophysics*. – 2005. – V. 46. – № 8. – P. 822–833.
45. Палеоклиматы Сибири в меловом и палеогеновом периодах / А.В. Гольберт, К.Н. Григорьева, Л.Л. Ильенко, Л.Г. Маркова, А.В. Скуратенко, Ю.В. Тесленко. – М.: Недра, 1977. – 107 с.
46. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене / А.В. Гольберт, Л.Г. Маркова, И.Д. Полякова, В.Н. Сакс, Ю.В. Тесленко. – М.: Наука, 1968. – 144 с.
47. Некоторые проблемы палеотемпературного анализа (по ростам белемнитов) / Т.С. Берлин, Е.Л. Киприкова, Д.П. Найдин, Н.Д. Полякова, В.Н. Сакс, Р.В. Тейс, А.В. Хабаков // *Геология и геофизика*. – 1970. – № 4. – С. 36–43.
48. Гаврилов А.В. Типизация Арктических шельфов по условиям формирования мерзлых толщ // *Криосфера Земли*. – 2008. – Т. XII. – № 3. – С. 69–79.
49. *Геокриология СССР. Средняя Сибирь* / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 50 с.
50. Груздов А.В., Трофимов В.Т., Филькин Н.А. Основные закономерности распространения, строения толщ и температур многолетнемерзлых пород Тазовского полуострова и бассейнов рек Надым и Пур // *Природные условия Западной Сибири*. – 1972. – Вып. 2. – С. 115–133.
51. Герасимов И.П. Четвертичная геология (Палеогеография четвертичного периода). – М.: Изд-во Наркомпроса РСФСР, 1939. – 363 с.
52. Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенной области Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене // *Криосфера Земли*. – 2006. – Т. X. – № 2. – С. 3–26.
53. Бадю Ю.Б. Влияние газоносных структур на мощность криогенной толщи Ямала // *Криосфера Земли*. – 2014. – Т. XVIII. – № 3. – С. 11–22.
54. Разумов С.О., Спектор В.Б., Григорьев М.Н. Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых // *Океанология*. – 2014. – Т. 54. – № 5. – С. 679–693.
55. Трофимов В.Т. Полуостров Ямал. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 246 с.
56. Романовский Н.Н., Тумской В.Е. Ретроспективный подход к оценке современного распространения и строения шельфовой криолитозоны Восточной Арктики // *Криосфера Земли*. – 2011. – Т. XV. – № 1. – С. 3–14.
57. Баулин В.В. История «подземного оледенения» Западной Сибири в связи с трансгрессией Арктического бассейна // *Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое*. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – С. 404–409.
58. Свиточ А.А. Палеогеография плейстоцена. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 188 с.
59. Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (Криолитология). – М.: Изд-во Московского университета, 1967. – 302 с.
60. Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенной области Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене. Сообщение 1 // *Криосфера Земли*. – 2005. – Т. IX. – № 2. – С. 3–22.
61. Трофимов В.Т. Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк). – М.: Изд-во Московского университета, 1975. – 302 с.
62. Tectonic structure and history of evolution of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic / V.A. Kontorovich, S.Yu. Belyaev, A.E. Kontorovich, V.O. Krasavchikov, A.A. Kontorovich, O. I. Suprunenko // *Russian Geology and Geophysics*. – 2001. – V. 42. – P. 1832–1845.
63. Catagenesis of organic matter at the top and base of the Jurassic complex in the West Siberian megabasin / A.E. Kontorovich, A.N. Fomin, V.O. Krasavchikov, A.V. Istomin // *Russian Geology and Geophysics*. – 2009. – V. 50. – № 11. – P. 917–929.
64. Searches Shale Oil in Western Siberia / G.A. Lobova, V.I. Isaev, A.N. Fomin, V.V. Stotsky // *International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016): Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: Conference Proceedings*. – Albena, 28 June – 7 July 2016. – Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2016. – V. 1-3. – P. 941–948.
65. Базы данных Государственных геологических карт ВСЕГЕИ. Карта дочетвертичных образований R (40)-41, R-43, 44(45). URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/> (дата обращения: 25.05.2016).
66. Isaev V.I., Fomin A.N. Loki of generation of bаженоv- and togur-type oils in the southern Nyurol'ka megadepression // *Russian Geology and Geophysics*. – 2006. – V. 47. – № 6. – P. 734–745.

67. 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.
68. Шкала геологического времени / У.Б. Харленд, А.В. Кокс, П.Г. Ллевеллин, К.А.Г. Пиктон, А.Г. Смит, Р. Уолтерс. – М.: Мир, 1985. – 140 с.
69. Иванов Н.С., Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – М.: Наука, 1965. – 74 с.
70. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) / Л.М. Бурштейн, Л.В. Жидкова, А.Э. Конто-рович, В.Н. Меленевский // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.
71. Isaev V.I. Interpretation of High-Accuracy Gravity Exploration Data by Mathematic Programming // Russian Journal of Pacific Geology. – 2013. – V. 7. – № 2. – P. 92–106.
72. Isaev V.I., Lobova G.A., Osipova E.N. The oil and gas contents of the Lower Jurassic and Achimovka reservoirs of the Nyuroirka megadepression // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – V. 55. – P. 1418–1428.

Поступила 12.08.2016 г.

Информация об авторах

Искоркина А.А., аспирант кафедры геофизики Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета; ведущий специалист Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу».

UDC 553.98(571)

PALEOCLIMATE FACTORS OF RECONSTRUCTING THERMAL HISTORY OF THE PETROMATERNAL BAZHENOV SUITE OF THE ARCTIC REGION IN WESTERN SIBERIA

Albina A. Iskorkina^{1,2},

iskorkina.a@mail.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Territorial fund of geological information on Siberian Federal District,
bld. 16, 9, Mokrushin street, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance. The earth of the Arctic region of the West Siberian oil-and-gas province has the unique paleoclimate features causing the need to improve schemes and parameters of quantitative assessment of hydrocarbon resources by volume and genetic method based on paleoreconstruction of geotemperature mode of petromaternal deposits.

The main aim of the research is to synthesize the known data on Mesozoic and Cainozoic climate of northern part of Western Siberia and to estimate the impact of paleoclimate factors – century course of temperatures of a terrestrial surface and the Neo-Pleistocene permafrost thickness – on the settlement geothermal mode of petromaternal suites, defining the calculation of resource density.

Object: Bazhenov deposits of the Mesozoic and Cenozoic section, opened with deep well 11 at the Arctic area (Yamal Peninsula).

Methods: system analysis and construction of the century course of paleoclimate parameters; paleotemperature modeling considering the parameters of sedimentation history and the history of thermal properties of sedimentary thickness.

Results. The author has matched the geographical and geochronological coordination of data on the century course of temperatures on the Earth's surface and the power dynamics of Neo-Pleistocene permafrost of the northern paleoclimate zone of Western Siberia, defined the «arctic» century course of temperatures on the Earth's surface, since the Jurassic time, and the century course of capacities of frozen rocks in quaternary time. It was determined that neglect of the century course of temperatures and permafrost thicknesses does not allow the adequate recovery of thermal history of maternal deposits. It is recommended when determining hydrocarbon resources by the volumetric-genetic method on lands of the Arctic region of Western Siberia to apply the «arctic» century course of temperatures and to consider the dynamics of thickness of the 300–600 meters Neo-Pleistocene permafrost. Otherwise the calculated hydrocarbon resources can be underestimated to 40 %.

Key words:

Paleoclimate, geothermal mode, Bazhenov deposits, resources of hydrocarbon, Yamal Peninsula.

The author acknowledges the assistance of V.I. Isaev (Dr. Sc.), G.A. Lobova (Dr. Sc.), A.N. Fomin (Dr. Sc.) in selecting real geological and geophysical information, consulting and discussing the results.

The paper was financially supported by the RFBR within the scientific project no. 16–35–00080 мол. а.

REFERENCES

- Golbert A.V. *Osnovy regionalnoy paleoklimatologii* [Bases of regional paleoclimatology]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 222 p.
- Kurchikov A.R., Stavitsky B.P. *Geotermiya neftegazonosnykh oblastey Zapadnoy Sibiri* [Geothermic of petroleum potential fields of Western Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 134 p.
- Kienast F.W., Sigert C., Mai D.-H. Climatic implications of Late Quaternary plant macrofossil assemblages from the Taymyr Peninsula, Siberia. *Global Planetary Change*, 2001, vol. 31, no. 1–4, pp. 263–280.
- Andreev A.A., Forman S.L., Ingylfsson Y., Manley W.F. Middle Weichselian environments on western Yamal Peninsula, Kara Sea, based on pollen records. *Quat. Res.*, 2006, vol. 65, pp. 275–281.
- Brinkhuis H., Schouten S., Collinson M., Sluijs A., Sinninghe Damsté J.S., Dickens G.R., Huber M., Cronin T.M., Onodera J., Takahashi K., Bujak J.P., Stein R., van der Burgh J., Eldrett J.S., Harding I.C., Lotter A.F., Sangiorgi F., van Konijnenburg-van Cittert H., de Leeuw J.W., Matthießen J., Backman J., Moran K. Episodic fresh surface waters in the Eocene Arctic Ocean. *Nature*, 2006, vol. 441, pp. 606–609.
- Kurchikov A.R. The geothermal regime of hydrocarbon pools in West Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 11–12, pp. 1846–1853.
- Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Malyshev N.A., Safonov P.I., Gus'kov S.A., Ershov S.V., Kazanekov V.A., Kim N.S., Kontorovich V.A., Kostyreva E.A., Melenevsky V.N., Livshits V.R., Polyakov A.A., Skvortsov M.B. Historical-geological modeling of hydrocarbon generation in the mesozoic-cenozoic sedimentary basin of the Kara sea (basin modeling). *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 1179–1226.
- Tissot B. Preliminary Data on the Mechanisms and Kinetics of the Formation of Petroleum in Sediments. Computer Simulation of a Reaction Flowsheet. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 2003, vol. 58, no. 2, pp. 183–202.
- Kukkonen I.T., Golovanova I.V., Khachay Yu.v., Druzhinin V.S., Kosarev A.M., Scharov V.A. Low geothermal heat flow of the Urals fold belt – implication of low heat production, fluid circulation or palaeoclimate? *Tectonophysics*, 1997, vol. 276, pp. 63–85.
- Golovanova I.V., Salrmanova R.Yu., Tagirova Ch.D. Method for deep-temperature estimation with regard to the paleoclimate influence on the heat flow. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 9, pp. 1426–1435.
- Vogt C., Mottaghy D., Rath V., Marquart G., Dijkshoorn L., Wolf A., Clauser C. Vertical variation in heat flow on the Kola Peninsula: palaeoclimate or fluid flow? *Geophysical Journal International*, 2014, vol. 199, pp. 829–843.
- Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A. Reconstructions of long-term ground surface heat flux changes from deep-borehole temperature data. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 12, pp. 1841–1846.
- Iskorkina A., Isaev V., Terre D. Assessment of Mesozoic-Cainozoic climate impact on oil-source rock potential (West Siberia).

- IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2015, no. 27, 012023. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012023/pdf> (accessed: 11 November 2015).
14. Galushkin Yu.I. *Modelirovanie osadochnykh basseynov i otsenka ikh neftegazonosnosti* [Modeling decantation basins and assessment of their petroleum potential]. Moscow, Nauchny mir Publ., 2007. 456 p.
 15. Popov S.A., Isaev V.I. Modeling of naftidogenesis of Southern Yamal. *Geofizicheskiy zhurnal – Geophysical journal*, 2011, vol. 33, no. 2, pp. 80–104. In Rus.
 16. Safronov P.I., Ershov S.V., Kim N.S., Fomin A.N. Modelirovanie protsessov generatsii, migratsii i akumulatsii uglevodorodov v yurskikh i melovykh kompleksakh Enisey-Khatangskogo basseyna [Modeling generation, migration and accumulation of hydrocarbons in the Jurassic and cretaceous complexes of the Yenisei-Hatangsky basin]. *Geologiya nefti i gaza – Geology of oil and gas*, 2011, no 5, pp. 48–55.
 17. Isaev V.I., Iskorkina A.A. The Mesozoic and Cenozoic course of temperatures on the Earth surface and geothermal mode of the Jurassic petromaternal deposits (the southern paleoclimat zone of Western Siberia). *Geofizicheskiy zhurnal – Geophysical journal*, 2014, vol. 36, no. 5, pp. 64–80. In Rus.
 18. Isaev V.I., Lobova G.A., Fomin A.N. Vliyanie paleoklimata na termicheskiy rezhim bazhenovskikh otlozheny yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri [Influence of paleoclimat on geothermal mode of bazhenov deposits in the southeast of Western Siberia]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeny – Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2015, no. 3, pp. 4–11.
 19. Isaev V.I. Assessment of the influence of permafrost strata of late quaternary climate cooling on the geothermal regime of oil-source deposits of Western Siberia. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2015, vol. 10, no. 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/12/21_2015.pdf (accessed: 26 May 2015).
 20. Iskorkina A.A., Isagalieva A.K., Isaeva O.S., Kosygin V.Ju., Isaev V.I. Late quaternary permafrost as a factor of geothermal mode and realization of petrogenative capacity of the Bazhenov shale (Tomsk and Novosibirsk regions). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2015, vol. 326, no. 10, pp. 6–23. In Rus.
 21. Baulin V.V., Belopukhova E.B., Dubikov G.I., Shmelev L.M. *Geokriologicheskie usloviya Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Geocryologic conditions of the West Siberian lowland]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 213 p.
 22. Dobretsov N.L., Zykin V.S., Zykina V.S. Struktura lessovo-pochvennoy posledovatelnosti pleystotsena Zapadnoy Sibiri i ee sopostavlenie s Baykalskoy i globalnymi letopisyami izmeneniya klimata [Structure of loessial and soil sequence of the pleistocene of Western Siberia and its comparison with Baikal and global chronicles of climate change]. *Doklady akademii nauk. Seriya Geografiya*, 2003, vol. 391, no. 6, pp. 821–824.
 23. Derevyanko A.P. *Globalnye izmeneniya klimata i prirodnoy sredy pozdnego kaynozoya v Sibiri* [Global changes of climate and environment of the late Cenozoic in Siberia]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2008. 511 p.
 24. Gavrilov A.V. *Kriolitotzona arkticheskogo shelfa Vostochnoy Sibiri (sovremennoe sostoyanie i istoriya razvitiya v srednem pleystotsene – golotsene). Avtoreferat Dis. Dokt. nauk* [Cryolithozone of the Arctic shelf of Eastern Siberia (current state and history of development on middle pleistocene – Holocene). Dr. Diss. Abstract]. Moscow, 2008. 28 p.
 25. Sharbatian A.A. *Ekstremalnye otsenki v geotermii i geokriologii* [Extreme estimates in geothermic and cryopedology]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 123 p.
 26. Baulin V.V. *Mnogoletnemerzlye porody neftegazonosnykh rayonov SSSR* [Permafrost rock of oil-and-gas regions of the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 176 p.
 27. Shpolyanskaya N.A. *Merzlaya zona litosfery Zapadnoy Sibiri i tendentsii ee razvitiya* [Frozen zone of lithosphere of Western Siberia and tendency of its development]. Moscow, Moscow University Press, 1981. 167 p.
 28. Danilov I.D., Parunin O.B., Marenko V.A., Chugunov A.B. Vozrast merzlykh otlozheny i izotopny sostav zalezhey podzemnykh ldov poluostrova Yamal (sever Zapadnoy Sibiri) [Age of frozen deposits and isotope structure of deposits of underground ices of the Yamal Peninsula (North of Western Siberia)]. *Geokhronologiya chetvertichnogo perioda* [Geochronology of the Quaternary Period]. Moscow, Nauka Publ., 1992. pp. 118–124.
 29. Sheynkman V.S., Plyusnin V.M. Glaciation of West Siberia – disputable questions and means of their solution. *Ice and snow*, 2015, vol. 55, no. 1, pp. 103–120. In Rus.
 30. Guskov S.A., Volkova V.S. Istoriya geologicheskogo razvitiya arkticheskikh rayonov Zapadno-Sibirskoy geosineklizy v kaynozoykskoe vremya [History of geological development of the Arctic districts of the West Siberian geosyncline in Cainozoic time]. *INTEREKSPO Geo-Siberia*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 1–4.
 31. Astakhov V.I., Nazarov D.V. Stratigraphy of the upper neopleistocene of the North of Western Siberia and its geochronometric justification. *Regional geology and metallogeny*, 2010, no. 43, pp. 36–47. In Rus.
 32. Volkova V.S., Mikhailova I.V. Environment and climate in the last (sartan) glaciation in West Siberia (according to palynological evidence). *Russian Geology and Geophysics*, 2001, no. 4, pp. 678–689.
 33. Astakhov V.I. Chronostratigraphic subdivisions of the Siberian upper Pleistocene. *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 11, pp. 1186–1199.
 34. Orlova V.V. *Klimat SSSR. Zapadnaya Sibir* [Climate of the USSR. Western Siberia]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1962. 359 p.
 35. Volkova V.S. Paleogene and neogene stratigraphy and paleotemperature trend of West Siberia (from palynological data). *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 52, no. 7, pp. 709–716.
 36. Sarana V.A. Ledniki Plato Putorana [Glaciers of Putorana Plateau]. *Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography*, 2005, no. 6, pp. 47–54.
 37. Pavlov A.V. Trendy sovremennykh izmeneniy temperatury pochvy na severe Rossii [Trends of current changes of soil temperature in the north of Russia]. *Cryosphere of Earth*, 2008, vol. XII, no. 3, pp. 22–27.
 38. Vasilchuk Yu.K., Serova A.K., Trofimov V.T. Novye dannye ob usloviyakh nakopleniya karginskikh otlozheniy na severe Zapadnoy Sibiri [New data on conditions of Karghinskaya deposits accumulation in the north of Western Siberia]. *Bulletin of the Commission on studying of the Quaternary Period*, 1984, no. 53, pp. 28–35.
 39. Chehovskiy A.L. Vliyanie skladchatykh struktur osadochnogo chekhla na povedenie nizhney granitsy mnogoletnemerzlykh porod [Influence of folded structures of the sedimentary cover on behavior of the lower boundary of permafrost]. *Tr. PNIIS*, 1975, no. 36, pp. 65–73.
 40. Arkhangelov A.A., Kartashova G.G. Paleogeografiya Kolymy nizmennosti v pozdnem plitsene [Paleogeography of Kolyma lowland in the late Pliocene]. *Klimaty Zemli v geologicheskoy proshlom* [Earth's climate in the geological past]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 229 p.
 41. Lebedeva I.M., Kotlyakov V.M., Ananicheva M.D., Kononov Yu.M., Davidovich I.V. Oledeneniya i lednikovyy stok gornyyh stran severnogo polushariya pri globalnykh potepleniyakh po paleoklimaticheskim scenariyam [Freezing and glacial drain of highlands of the northern hemisphere at global warming in paleoclimatic scenarios]. *Newsletter of the Russian Federal Property Fund. Sciences about Earth*, 1999, no. 7. Available at: <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2057/item.asp?id=750236> (accessed: 18 July 2016).

42. Volkova V.S. Geologic stages of the paleogene and neogene evolution of the Arctic shelf in the Obr region (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 4, pp. 619–633.
43. Kulkova I.A., Volkova V.S. Landshafty i klimat Zapadnoy Sibiri v paleogene i neogene [Landscapes and climate of Western Siberia in the Paleogene and Neogene]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1997, vol. 38, no. 3, pp. 581–595.
44. Volkova V.S., Kuz'mina O.B. Flora, vegetation, and climate of the middle cenophytic (paleocene-eocene) of Siberia: palynological data. *Russian Geology and Geophysics*, 2005, vol. 46, no. 8, pp. 822–833.
45. Golbert A.V., Grigoreva K.N., Ilenok L.L., Markova L.G., Skuratenko A.V., Teslenko Yu.V. *Paleoklimaty Sibiri v melovom i paleogenovom periodakh* [Paleoclimates of Siberia in the Cretaceous and Paleogene periods]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 107 p.
46. Golbert A.V., Markova L.G., Polyakova I.D., Saks V.N., Teslenko Yu.V. Paleolandschafty Zapadnoy Sibiri v yure, melu i paleogene [Paleolandsapes of Western Siberia in the Jurassic, Cretaceous and Paleogene]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 144 p.
47. Berlin T.S., Kiprikova E.L., Naydin D.P., Polyakova N.D., Saks V.N., Teys R.V., Khabakov A.V. Nekotorye problemy paleotemperaturnogo analiza (po rostam belemnitov) [Some problems of paleo thermal analysis (by belemnite growth)]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1970, vol. 4, pp. 36–43.
48. Gavrillov A.V. Tipizatsiya Arkticheskikh shelfov po usloviyam formirovaniya merzlykh tolshch [Typing the Arctic shelf on conditions of formation of permafrost]. *Cryosphere of Earth*, 2008, vol. XII, no. 3, pp. 69–79.
49. Ershova E.D. *Geokriologiya SSSR. Srednyaya Sibir* [Geocryology of the USSR. Central Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 50 p.
50. Gruzдов A.V., Trofimov V.T., Filkin N.A. Osnovnye zakonomernosti rasprostraneniya, stroeniya tolshch i temperatur mnogoletnemerzlykh porod Tazovskogo poluostrova i basseynov rek Nadyim i Pur [Basic regularities of distribution, strata structure and temperatures of permafrost rocks of Tazovsky peninsula and basins of the rivers Nadyim and Pur]. *Prirodnye usloviya zapadnoy Sibiri*, 1972, no. 2, pp. 115–133.
51. Gerasimov I.P. *Chetvertichnaya geologiya (Paleogeografiya chetvertichnogo perioda)* [Quaternary geology (Paleogeography of the Quaternary Period)]. Moscow, Narkompros RSFSR'S Publ. house, 1939. 363 p.
52. Fotiev S.M. Sovremennye predstavleniya ob evolyutsii kriogennoy oblasti Zapadnoy i Vostochnoy Sibiri v pleystotsene i golotsene [Modern ideas of evolution of cryogenic area of Western and Eastern Siberia in the Pleistocene and the Holocene]. *Cryosphere of Earth*, 2006, vol. X, no. 2, pp. 3–26.
53. Badu Yu.B. Influence of gas-bearing structures on the capacity of Yamal cryogenic strata. *Cryosphere of Earth*, 2014, vol. XVIII, no. 3, p. 11–22. In Rus.
54. Razumov S.O., Spektor V.B., Grigorev M.N. Model pozdnekaynozoy-skiy evolyutsii kriolitozony shelfa zapadnoy chasti morya Laptevskiy [Model of Late Cenozoic evolution of shelf cryolithozone of the Laptev Sea western part]. *Oceanology*, 2014, vol. 54, no. 5, pp. 679–693.
55. Trofimov V.T. *Poluostrov Yamal* [The Yamal Peninsula]. Moscow, Moscow University Press, 1980. 246 p.
56. Romanovsky N.N., Tumskey V.E. Retrospective approach to assessment of current distribution and structure of shelf cryolithic zone of East Arctic. *Cryosphere of Earth*, 2011, vol. XV, no. 1, pp. 3–14.
57. Baulin V.V. Istoriya «podzemnogo oledeneniya» Zapadnoy Sibiri v svyazi s transgressiyey Arkticheskogo basseyna [The history of «underground glaciation» of Western Siberia owing to transgression of the Arctic Basin]. *Severny ledovity ocean i ego poberezhie v kaynozoe* [The Arctic Ocean and its coast in the Cenozoic]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970. pp. 404–409.
58. Svitoch A.A. *Paleogeografiya pleystotsena* [Paleogeography of the Pleistocene]. Moscow, MGU Publ. house, 1987. 188 p.
59. Popov A.I. *Merzlotnye yavleniya v zemnoy kore (Kriolitologiya)* [Permafrost phenomena in the Earth's crust (Cryolithology)]. Moscow, Moscow University Publ. house, 1967. 302 p.
60. Potiev S.M. Sovremennye predstavleniya ob evolyutsii kriogennoy oblasti Zapadnoy i Vostochnoy Sibiri v pleystotsene i golotsene. Soobschenie 1 [Modern ideas on evolution of cryogenic area of Western and Eastern Siberia in Pleistocene and Holocene. Report 1]. *Cryosphere of Earth*, 2005, vol. IX, no. 2, pp. 3–22.
61. Trofimov V.T. *Poluostrov Yamal (inzhenerno-geologicheskyy ocherk)* [Yamal Peninsula (engineering-geological sketch)]. Moscow, Moscow University Publ. house, 1975. 302 p.
62. Kontorovich V.A., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.E., Krasavchikov V.O., Kontorovich A.A., Suprunenko O.I. Tectonic structure and history of evolution of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, pp. 1832–1845.
63. Kontorovich A.E., Fomin A.N., Krasavchikov V.O., Istomin A.V. Catagenesis of organic matter at the top and base of the Jurassic complex in the West Siberian megabasin. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 11, pp. 917–929.
64. Lobova G.A., Isaev V.I., Fomin A.N., Stotsky V.V. Searches Shale Oil in Western Siberia. *International Multidisciplinary Scientific Geoconferrence (SGEM 2016): Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: Conference Proceedings*. Albena, 28 June – 7 July 2016. Sofia, STEF92 Technology Ltd, 2016. Vol. 1–3, pp. 941–948.
65. *Bazy dannykh Gosudarstvennykh geologicheskikh kart VSEGEI. Karta dochetvertichnykh obrazovaniy R (40)-41, R-43, 44(45)* [Databases of the State geological map of VSEGEI. Map structures pre-Quaternary R(40)-41, R-43, 44 (45)]. Available at: <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/> (accessed 25 May 2016).
66. Isaev V.I., Fomin A.N. Loci of generation of bazhenov- and togur-type oils in the southern Nyuro'l'ka megadepression. *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 6, pp. 734–745.
67. 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.
68. Harlend U.B., Koks A.V., Llevellin P.G., Pikton K.A.G., Smit A.G., Uolters R. *Shkala geologicheskogo vremeni* [Scale of geological time]. Moscow, Mir Publ., 1985. 140 p.
69. Ivanov N.S., Gavrilov R.I. *Teplofizicheskie svoystva merzlykh gornyykh porod* [Thermal properties of frozen rocks]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 74 p.
70. Burshteyn L.M., Zhidkova L.V., Kontorovich A.E., Melenevskiy V.N. Model katageneza organicheskogo veshchestva (na primere bazhenovskoy svity) [Model of katagenesis of organic matter (by the example of Bazhenov Formation)]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1997, vol. 38, no. 6, pp. 1070–1078.
71. Isaev V.I. Interpretation of High-Accuracy Gravity Exploration Data by Mathematic Programming. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2013, vol. 7, no. 2, pp. 92–106.
72. Isaev V.I., Lobova G.A., Osipova E.N. The oil and gas contents of the Lower Jurassic and Achimovka reservoirs of the Nyuro'l'ka megadepression. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, pp. 1418–1428.

Received: 12 August 2016.

Information about the authors

Albina A. Iskorkina, graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University; leading expert, Territorial fund of geological information on Siberian Federal District.