

УДК 551.3

DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4137

Строение и условия формирования ярактинского продуктивного горизонта позднего венда южной части Непско-Ботуобинской антиклизы

А.В. Плюснин¹✉, Н.А. Иванова², Н.С. Сентякова², Д.А. Староселец¹,
М.И. Гекче³, М.Ю. Никулина¹, Е.В. Никулин¹, В.А. Фомин⁴

¹ Тюменский Государственный университет, Россия, г. Тюмень

² АО «СНИИГГиМС», Россия, г. Новосибирск

³ ООО «Иркутская нефтяная компания», Россия, г. Иркутск

⁴ Институт Земной Коры СО РАН, Россия, г. Иркутск

✉ a.v.plyusnin@mail.ru

Аннотация

Актуальность. Восточная Сибирь является регионом с большими сырьевыми ресурсами, играющим важнейшую роль в развитии нефтегазового комплекса России. Начиная с 1970-х гг. на территории Непско-Ботуобинской антиклизы ведутся активные геологоразведочные работы с целью поиска углеводородов. Одним из основных объектов разработки являются терригенные отложения венда, в которых сосредоточено до половины запасов углеводородов данного региона. Поэтому для оптимальной разработки приуроченных к ним залежей углеводородов необходимо детальное изучение литологических факторов формирования терригенных коллекторов. **Цель:** посредством литолого-фациального анализа восстановить и проследить эволюцию условий осадконакопления ярактинского продуктивного горизонта непской свиты. **Объекты:** терригенные отложения ярактинского продуктивного горизонта верхненепской подсвиты непской свиты венда, вскрытые глубоким бурением в районе Ярактинского месторождения. **Методы:** минералого-петрографическое изучение кернового материала; фациальный анализ литологических типов пород; корреляция. **Результаты.** Ярактинский продуктивный горизонт был сформирован в поздне-непское время. В это время существовала частично субаэральная и в большей степени субаквальная дельтовая равнина (нижняя дельтовая равнина) в пределах приливно-отливной равнины. Предполагается, что это дельта выдвигения на побережье с преобладанием приливно-отливной деятельности и в меньшей степени волновой (смешанный тип побережья). В последующую трансгрессию, в конце непского времени (верхняя часть пласта), на месте дельтовой равнины начинает формироваться баровая система с продвижением баров в сторону береговой линии в северо-западном направлении. Бары имели вытянутую вдоль условного берега чечевицеобразную форму. При формировании баров, за счет активной волновой и приливной деятельности, переотлагались и пересортировывались выносимые дельтой осадки. На границе поздне-непского и раннетирского времени вся территория представляла собой мелководную приливно-отливную и терригенную себху с глинисто-алевритовыми осадками и сульфатно-карбонатными включениями в них. Улучшенные фильтрационно-емкостные свойства связаны с фациями распределительных субаквальных каналов и крупных (активных) приливно-отливных каналов.

Ключевые слова: венд, непская свита, ярактинский продуктивный горизонт, фациальный анализ, Восточная Сибирь.

Для цитирования: Строение и условия формирования ярактинского продуктивного горизонта позднего венда южной части Непско-Ботуобинской антиклизы / А.В. Плюснин, Н.А. Иванова, Н.С. Сентякова, Д.А. Староселец, М.И. Гекче, М.Ю. Никулина, Е.В. Никулин, В.А. Фомин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 80–93. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4137

UDC 551.3

DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4137

Structure and formation conditions of the Yarakta productive horizon of the Late Vendian in the southern part of the Nepsko-Botuobinskaya Anticline

A.V. Plusnin^{1✉}, N.A. Ivanova², N.S. Sentyakova², D.A. Staroselets¹,
M.I. Gekche³, M.Y. Nikulina¹, E.V. Nikulin¹, V.A. Fomin⁴

¹ Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

² JSC SNIIGiMS, Novosibirsk, Russian Federation

³ Irkutsk Oil Company, Irkutsk, Russian Federation

⁴ Institute of Terrestrial Bark, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

✉ a.v.plyusnin@mail.ru

Abstract

The relevance. Eastern Siberia is a region with large raw material resources that plays a crucial role in development of Russian oil and gas complex. Since the 1970s, active exploration for hydrocarbons has been underway in the Nepsko-Botuobinskaya Anticline. One of the main targets for development are terrigenous Vendian deposits, in which up to half of the region hydrocarbon reserves are concentrated. Therefore, for optimal development of the fields confined to them, a detailed study of lithological factors of formation of terrigenous reservoirs is required. **The main aim.** Lithological and facies analysis is used to reconstruct and trace the evolution of sedimentation conditions of the Yarakta productive horizon of the Nepa Formation. **Objects.** Terrigenous deposits of the Yarakta productive horizon of the Upper Nepa subformation of the Upper Vendian Formation, uncovered by deep drilling in the area of the Yarakta field. **Methods.** Mineralogical-petrographic study of core material, facies analysis of lithological rock types, correlation. **Results.** The Yarakta productive horizon was formed during Late Nepa time. At that time, there was a partly subaerial and to a greater extent subaerial delta plain (lower delta plain) within the tidal plain. It is assumed to be a delta of advancement on a coast dominated by tidal activity and to a lesser extent by wave activity (mixed type of coast). In the subsequent transgression, in the Late Nepa time (upper part of the strata), a bar system began to form in place of the delta plain with the bars advancing toward the coastline in the northwestern direction. The bars had an elongated lentic-shaped shape along the conditional coastline. During the formation of the bars, due to the active wave and tidal activity, the sediments carried out by the delta were redeposited and re-sorted. At the Late Nepa and Early Tertiary boundary, the entire area was a shallow intertidal and terrigenous sebhа (lagoon) with clay-siltstone sediments and sulfate-carbonate inclusions in them; sometimes, sandy sediments of small intertidal channels or sandbanks are noted in them. Improved filtration-capacitative properties are associated with the facies of distributary subaquatic channels and large (active) tidal channels.

Keywords: Vendian, Nepa Formation, Yarakta productive horizon, facies analysis, Eastern Siberia.

For citation: Plusnin A.V., Ivanova N.A., Sentyakova N.S., Staroselets D.A., Gekche M.I., Nikulina M.Y., Nikulin E.V., Fomin V.A. Structure and formation conditions of the Yarakta productive horizon of the Late Vendian in the southern part of the Nepsko-Botuobinskaya Anticline. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 11, pp. 80–93. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4137

Введение

История изучения терригенных отложений южной части Непско-Ботуобинской антиклизы (НБА) берет свое начало в 60–70 гг. XX в. с открытия Ярактинского, Аянского, Марковского и др. нефтегазоконденсатных месторождений (рис. 1, б). В пределах НБА нефтегазоносность связана с венд-кембрийскими отложениями, среди которых особое место занимают терригенные коллектора непской свиты, являющиеся одним из основных объектов поиска и разработки углеводородов. Интерес

нефтегазовых компаний к свите особенно отмечается в последние десятилетия и подтверждается значительными объемами поисково-разведочного бурения с отбором керна из интервала её развития.

На современном этапе изучения свиты отмечается фрагментарность информации об особенностях её развития и отсутствие высокодетализированных моделей седиментации её отложений. Вышеназванная ситуация приводит к невозможности прогнозирования латерального распространения пород-коллекторов непской свиты и, как следствие, суще-

ствованию значительных финансовых рисков в её освоении. Получение новой геолого-геофизической информации позволяет существенно повысить детальность представлений о литологическом строении и генезисе продуктивных отложений свиты, а также детализировать и верифицировать геологические и литолого-фациальные модели, выполненные ранее.

Цель настоящего исследования заключается в изучении строения и фациального анализа пород ярактинского продуктивного горизонта непской свиты района одноимённого месторождения на основе интерпретации описания керна и результатов петрографического исследования пород в шлифах с построением литолого-фациального профиля и карт по изученным скважинам.

Объект и методы исследования

Основой для работы послужили результаты литолого-фациального анализа керна 15 скважин (СНп-1, Кий-21, Кий-20, Ткм-2, Я-306, Я-303, Я-261, Я-263, Я-545, Я-154, Я-609, Я-343, Я-719,

Я-202, Мр-700), пробуренных на территории юга НБА, преимущественно в районе Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения (рис. 1, а). В работе рассмотрено строение одноименного ярактинского продуктивного горизонта, стратиграфически приуроченного к верхненепской подсвите непской свиты, как основного объекта разработки на данном месторождении.

На основе комплексной интерпретации ГИС поисковых и разведочных скважин построена карта толщин изучаемых отложений. Выполнено детальное литолого-седиментологическое описание более 300 м керна и петрографический анализ 280 образцов. Замеры открытой пористости и абсолютной газопроницаемости по гелию произведены на образцах стандартного размера (высотой 3 см и диаметром 3 см). Концептуальное фациальное моделирование осуществлялось на основе седиментационных моделей, разработанных известными специалистами в области терригенного осадконакопления [2–8].

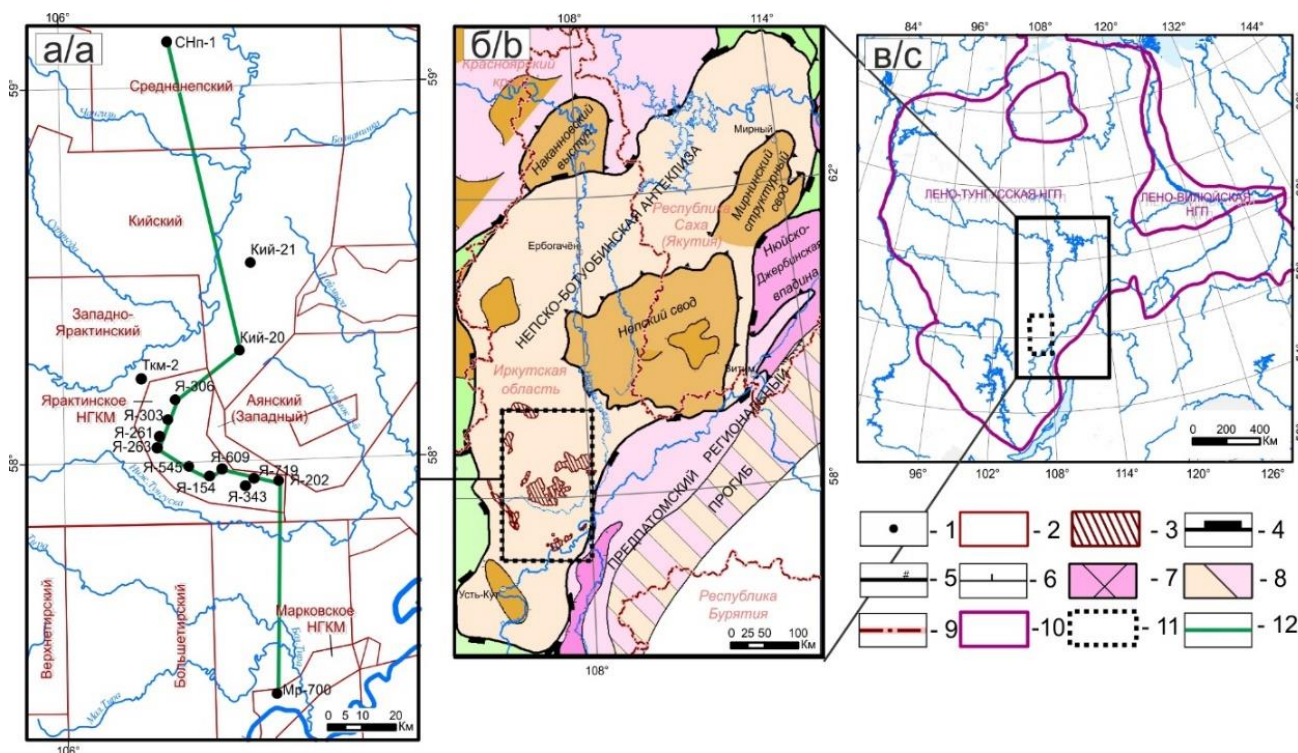


Рис. 1. Обзорная карта района исследований: а) схема расположения скважин; б) фрагмент тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы [1]; в) контур Сибирской платформы; 1 – скважины с детальным литологическим исследованием керна; 2 – граница лицензионных участков; 3 – месторождения УВ; контуры структур: 4 – надпорядковых, 5 – первого порядка; 6 – второго порядка; 7 – выходы кристаллического фундамента; 8 – зоны складчато-надвиговых дислокаций; 9 – границы субъектов РФ; 10 – границы нефтегазоносной провинции; 11 – район исследования; 12 – профиль корреляции

Fig. 1. Overview map of the study area: a) well location scheme; b) fragment of the tectonic map of oil and gas provinces of the Siberian platform [1]; c) contour of the Siberian platform; 1 – wells with detailed lithological core studies; 2 – boundary of license areas; 3 – hydrocarbon deposits; contours of structures: 4 – suprasurface, 5 – first-order; 6 – second-order; 7 – crystalline basement outcrops; 8 – zones of fold-slip dislocations; 9 – borders of RF subjects; 10 – borders of oil and gas province; 11 – study area; 12 – correlation profile

Объектное фациальное моделирование осуществлялось по авторскому варианту на основе геолого-геофизической интерпретации ГИС, с построением карт сигнатур по пачкам внутри ярактинского пласта и выделением границ осадочных тел.

Краткие сведения о геологическом строении

Южная часть НБА, согласно схеме структурно-фациального районирования вендских отложений Сибирской платформы, относится к Приленско-Непской фациальной зоне. Непская свита, в объеме непского горизонта нижнего венда, разделена на две подсвиты – нижнюю и верхнюю [9]. В основании нижней подсвиты выделяется преимущественно песчаный и галечно-гравийно-песчаный безымянный продуктивный горизонт (В13). Верхняя подсвита залегает на нижней со стратиграфическим внутринеписким несогласием [10–12]. В основании верхней подсвиты выделяется песчаный ярактинский (марковский) продуктивный горизонт (В10). Базальные отложения непской свиты залегают на кристаллическом фундаменте или его коре выветривания.

По результатам исследования керн скважин породы фундамента в южной части НБА представлены преимущественно гранитами и гранито-гнейсами в различной степени измененными. Кора выветривания в наиболее полных разрезах представлена двумя типами [13]: 1) глинистая кора выветривания (КВ-1) серицит-пелитового состава, с незначительным содержанием хлорита и мусковита, развитого по биотиту, и редкими зернами кварца; 2) кора выветривания структурного типа (КВ-2), с реликтовой структурой исходной породы, на фоне основной гидрослюдистой массы отмечаются крупные агрегаты кварца, порфиры полевого шпата, большая часть которых замещена серицитом, биотит замещен хлоритом либо хлоритом и мусковитом.

Строение и распространение отложений непской свиты

По результатам межскважинной корреляции отложений непской свиты по фонду 542 скважин юга НБА была построена карта толщин, которая отражает особенности строения палеорельефа этой территории на начало непского времени и в целом согласуются с региональными представлениями об истории развития данной территории [14–20 и др.]. Распределение толщин непской свиты позволяет предположить существование на данной территории расчлененного несколькими палеодолинами рельефа с общим относительно пологим уклоном на юг, юго-восток (рис. 2).

Здесь в непское время происходила разгрузка основных водотоков (по часовой стрелке с севера на юг): Даниловский, Дулиминский, Аянский, Ярактинский, Марковский, Большетирский и Верхнетирский. Мощность свиты в юго-восточном направлении изменяется от 2–6 м в северо-западной части изучаемой территории (основной палеовыступ северо-западнее скважины Ткм-2) до >110 м в юго-восточной части (Мр-700). Максимальные толщины развиты преимущественно в палеодолинах (палеоврезах) и в основании склона НБА. Зоны развития минимальных толщин позволяют закартировать основной «водораздел» и отдельные «долго живущие» палеовыступы коренных пород. Отложения нижнепиской подсвиты имеют ограниченное распространение, зона выклинивания фиксируется северо-западнее линии скважины Я-154, максимальные толщины развиты на Марковской площади. Отложения верхнепиской подсвиты распространены на всей территории южной части НБА.

Литолого-фациальное строение

Результаты изучения литолого-фациального строения и реконструкций условий формирования ярактинского горизонта изложены в работах предшественников [2, 3, 5, 6, 8–12, 14], в которых можно проследить всю эволюцию представлений на строение ярактинского пласта. Несмотря на дискуссионный вопрос о климатических условиях в период непского времени и природы источника воды, являющегося агентом переноса терригенного материала с денудационной суши, большая часть исследователей склоняются к дельтовой модели формирования ярактинского песчаного горизонта. Новые детальнее литологические исследования позволяют авторам работы существенно детализировать строение и подтвердить существующую литолого-фациальную модель.

На основе анализа ассоциаций структурно-текстурных параметров изученных отложений и изменения их по разрезу нами в качестве концептуальной седиментационной модели формирования ярактинского пласта предложена модель приливно-отливных дельт [4].

В области субаэральной дельты развивается система плетенных (ветвящихся) русел (каналов), являющихся основным агентом транспортировки обломочного материала со стороны денудационной суши. Русловые каналы в этой зоне подвержены приливному влиянию с реверсами потока (обратными потоками) и периодами застоя (отложения илов). В разрезе наблюдаются песчаники с косой однонаправленной и перекрестной слоистостью и слойков реактивации с размывом иловых слойков.

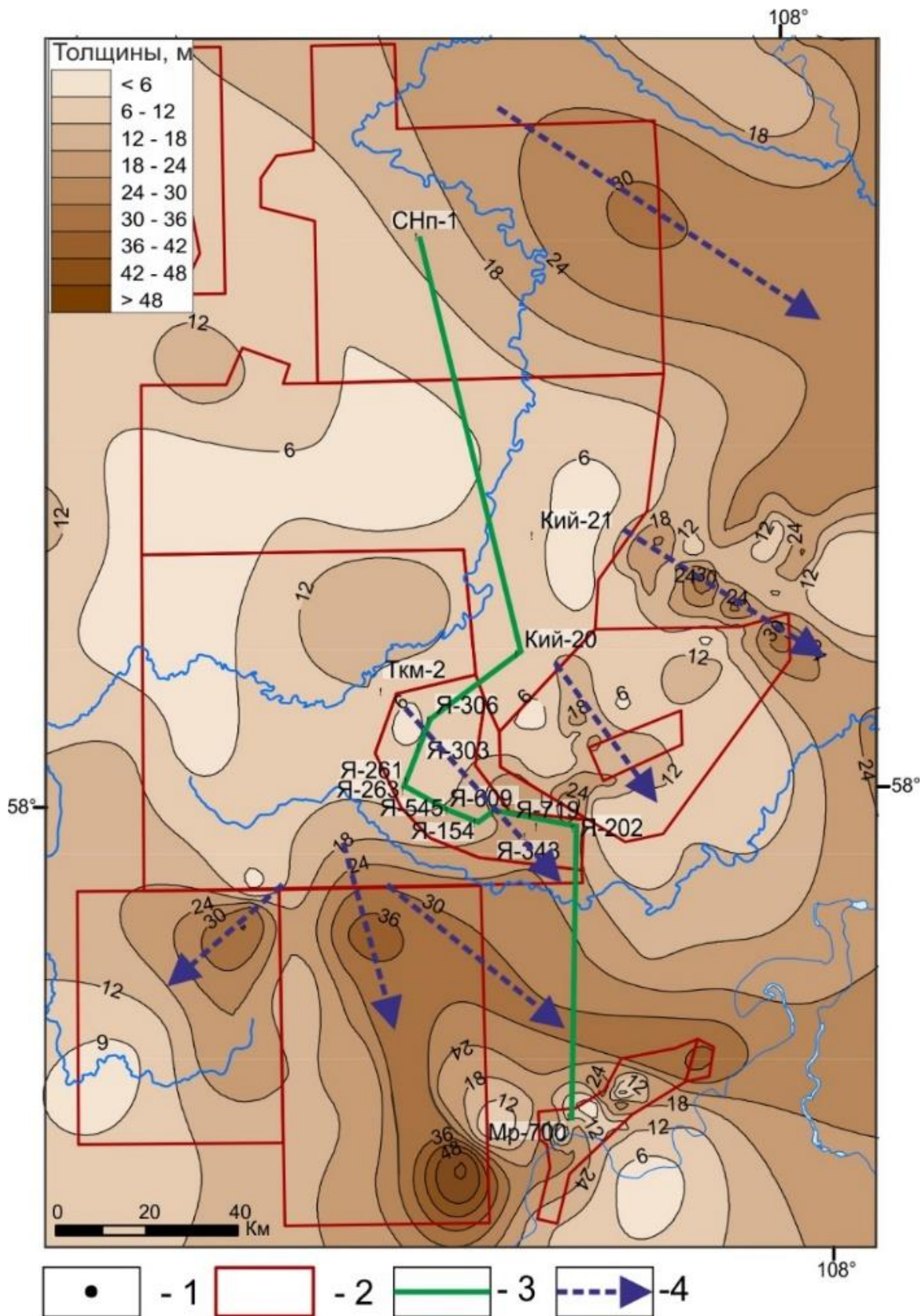


Рис. 2. Схематическая карта толщин непской свиты (1 – скважины с детальным литологическим исследованием керна; 2 – граница лицензионных участков; 3 – профиль корреляции; 4 – направления разгрузки основных водотоков)

Fig. 2. Schematic map of the Nepa Formation thicknesses (1 – wells with a detailed lithological core study; 2 – boundary of license areas; 3 – correlation profile; 4 – directions of discharge of main watercourses)

В зоне субаквальной части дельты преобладают приливно-отливные течения, которые перерабатывают поступающий речным стоком обломочный материал в продолговатые гряды, перпендикулярные береговой линии. В результате формируется серия баровых тел, из-за боковой миграции отдельные тела могут объединяться в широкие продолговатые песчаные гребни, разделенные иловыми приливно-отливными осадками. Для таких баровых тел характерна блоковая форма гамма-каротажа с довольно равномерной зернистостью по всему разрезу, в некоторых случаях со слабым увеличением зернистости вверх по разрезу. Переработка обломочного материала речными и приливно-отливными процессами приводит к сортировке зерен и очистке от иловой составляющей. Степень сортировки и окатанности зерен зависит от длительности переработки. В начале трансгрессивного этапа при большом объеме поступления обломочного материала (преобладающем над скоростью повышения относительного уровня моря), дельта будет носить проградационный характер, а на этапе, когда скорость повышения относительного уровня моря преобладает над объемом поступающего обломочного материала, дельтовая система ретроградирует. Подобную закономерность развития дельтовой системы можно наблюдать и в изучаемом нами разрезе. На территории Ярактинской площади разрезы рассматриваемого пласта изученных скважин, вероятнее всего, попадают в зону субаквальной дельты.

В результате литолого-фациального анализа установлено, что изучаемые отложения формировались в прибрежно-морских обстановках приливно-отливной побережья в пределах крупного дельтового комплекса. Дельта выдвигения – на побережье с преобладанием приливно-отливной деятельности и в меньшей степени волновой – смешанный тип побережья. Далее вторыми приводятся описания выделяемых фаций.

Дельтовый комплекс (распределительные каналы, бары) представлен серыми, серыми с коричневым оттенком гравелитами средне-мелкозернистыми, средне-крупнопесчаными, до песчаников разнозернистых (средне-крупнозернистых гравелитовых). Текстура косо-однонаправленнослоистая ($\angle 20^\circ$), косо-разнонаправленнослоистая, реже срезанно-косослоистая, крупно-масштабно-мульдообразная. Слоистость обусловлена чередованием с ясными границами слоев различного гранулометрического состава, также подчеркивается ориентировкой удлиненных гравийных обломков, в подошвенных частях циклов ориентировкой глинистых интракластов. В целом обломочный материал плохо и средне сортирован. Гравийный материал полуокатанный и неокатанный, песчаный материал полуокатанный. Цемент преимущественно глинистый в

незначительном количестве, в кровельных частях большое количество сульфатно-карбонатного базально-порового цемента (рис. 3, а, б).

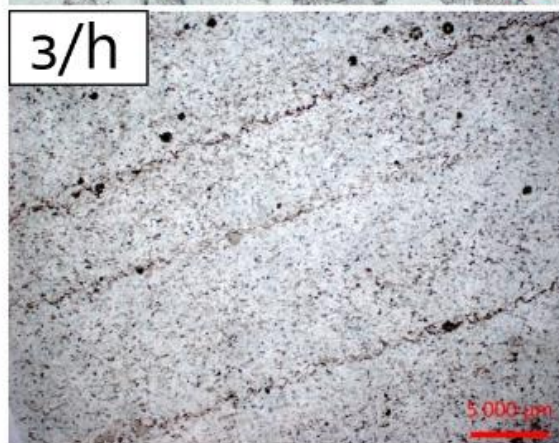
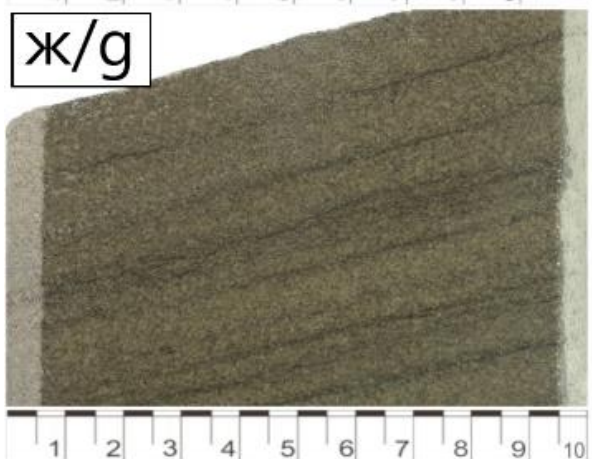
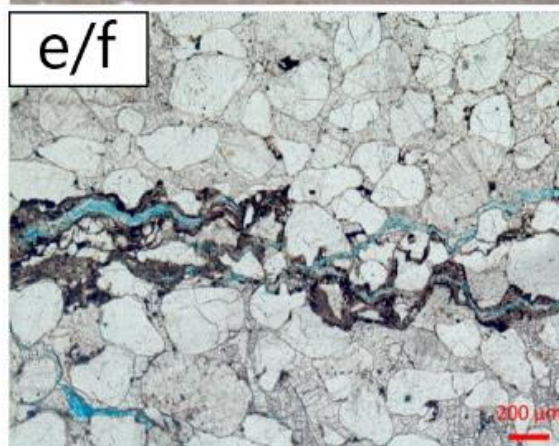
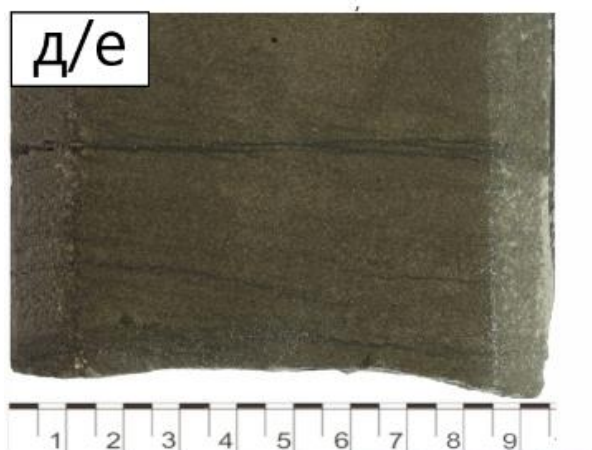
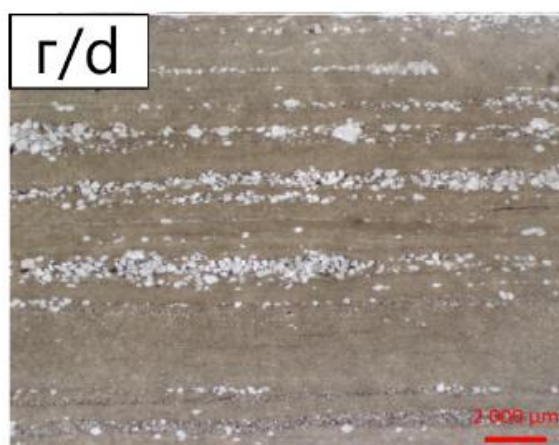
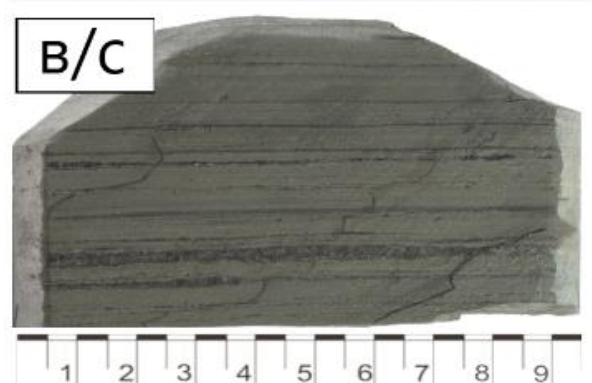
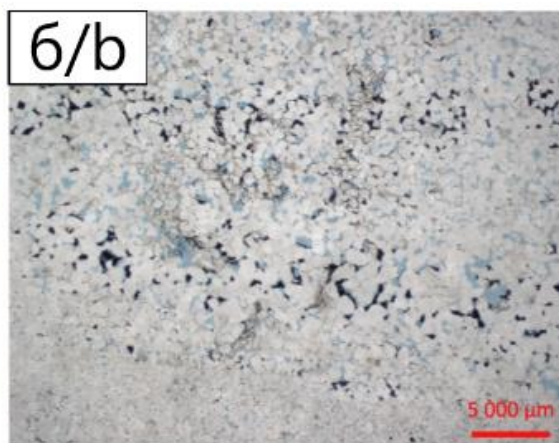
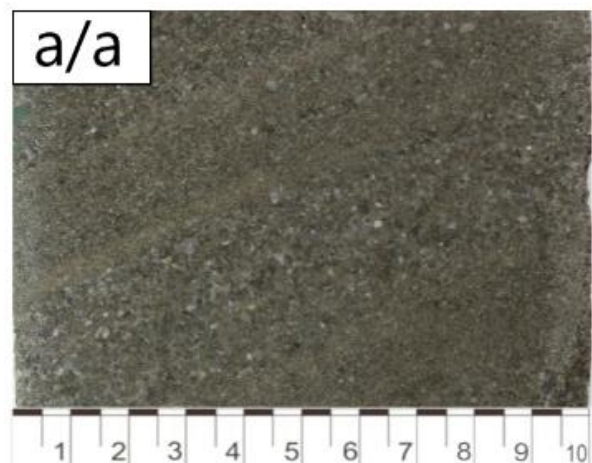
Основные коллектора представлены песчаниками с межзерновыми порами неправильной, реже изометричной формы, размером от 0,6 до 1 мм, изолированными и сообщающимися между собой. В большинстве рассмотренных разрезов отмечаются улучшенные фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС). Диапазон изменения пористости составляет 6–9 %, проницаемости – 1–10 мД, с незначительной тенденцией ухудшения ФЕС к кровельной части каналов. Ухудшение ФЕС связано с присутствием первичного глинистого цемента и с вторичным воздействием доломитизации, ангидритизации и локального окварцевания.

Иловая приливно-отливная равнина представлена темно-серыми, темно-зелеными глинистыми алеврититами до алевро-аргиллитов, тонко-параллельно-субгоризонтальнослоистыми (сдвоенные глинистые слойки), слабоволнистослоистыми, неправильно-волнистослоистыми линзовиднослоистыми (флазерная слоистость), участками нарушеннослоистыми (просачивание, срезание, пластичная деформация осадка, разрыв и взмучивание осадка) (рис. 3, в, з).

Отложения иловой приливно-отливной равнины не имеют существенного пустотного пространства, поэтому говорить о качествах ФЕС нецелесообразно. Однако, если принимать во внимание изолированные алевритовые, в некоторых случаях алевро-песчаные прослои, то можно отметить, что для них характерна пористость $< 3\%$ и проницаемость от 0,1 до 1 мД.

Бары приливно-отливной равнины сложены песчаниками мелко-среднезернистыми, послойно крупнозернистыми и среднезернистыми субгоризонтально-мелко-среднеслоистыми, косо-волнистосрезаннослоистыми, косо-срезаннослоистыми, смещенно-волнистослоистыми. Обломочный материал хорошей окатанности и сортировки. Цемент преимущественно сульфатного или карбонатного состава. В меньшем количестве отмечается глинистый, битуминозный цементы (рис. 3, д, е).

В коллекторах отложений баров приливно-отливной равнины отмечаются поры неправильной, реже изометричной формы, размером от 0,2 до 0,6 мм, изолированные, часто сообщающиеся между собой попарно и участками. В большинстве рассмотренных разрезов преобладает диапазон пористости от 3 до 6 % и проницаемости от 10 до 100 мД. Однако, принимая во внимание небольшие мощности данных отложений и отрицательное воздействие карбонатизации, ангидритизации и локально значительного количества первичного глинистого цемента, а также слишком тонких пор, не обладающих хорошей пропускной способностью, следует оценить ФЕС данных отложений как низкие.



Распределительные субаквальные каналы представлены серыми с коричневым оттенком песчаниками средне-крупнозернистыми послойно до гравелитовых, с крупно-средне-масштабной мульдобразной и косою (20°) слоистостью, к кровле переходящей в субгоризонтальную. Цемент преимущественно карбонатный (доломитовый), реже встречается глинистый, кварц-регенерационный и битуминозный (рис. 3, ж, з).

В коллекторах отложений распределительных каналов субаквальной дельты отмечаются поры неправильной, реже изометричной формы, размером от 0,3 до 1,23 мм, часто сообщающиеся между собой. Преобладающий диапазон пористости от 9 до 12 % и проницаемости от 10 до 100 мД, ухудшающийся лишь в подошвенных частях.

Сабха представлена двумя основными типами пород. Доломиты глинистые, ангидритистые субгоризонтальнослоистые, участками нарушенослоистые, плотные. Слоистость горизонтальная ровная и слабо волнистая за счет тонких глинистых слойков. Участками отмечается просачивание осадка, деформация осадка за счет развития ангидрита. Хаотично и послойно рассеянными кристаллами и редкими мелкими стяжениями развит ангидрит (рис. 4, а). Песчаники от мелкозернистых до мелко-среднезернистых с алевроитовой примесью и карбонатными литокластами, субгоризонтально-слоистые, прерывистоволнистослоистые, плотные. Слоистость подчеркивается послойным распределением карбонатно-сульфатного и глинистого цемента и его количества, слойки четкие. Иногда слоистость за счет глинистых слойков и

карбонатных литокластов. Обломочный материал от средне- до хорошосортированного, окатанный, упаковка средняя до плотной. Цемент в большом количестве доломитовый и ангидритовый базально-порового типа, в меньшей степени развит глинистый пленочный цемент. В породах отмечаются редкие желваки ангидрита (рис. 4, б).

Отложения не имеют существенного пустотного пространства, поэтому говорить о качествах ФЕС нецелесообразно.

По результатам изучения скважин был построен схематический литолого-фациальный разрез по изученным скважинам, отражающий вертикальные и латеральные фациальные ряды (рис. 5).

Литолого-фациальные реконструкции этапов формирования непской свиты

Исходя из распределения толщин, вероятнее всего, большую часть ранненепского времени данная территория была не только денудационной сушей, но и зоной транзита обломочного материала, переносимого флювиальными потоками. Суша представляла собой расчлененный горный массив и отдельно стоящие останцы, сложенные гранитоидами и гранито-гнейсами, в условиях аридного и семиаридного климата по породам гранитоидного типа формировалась кора выветривания глинистого и структурного типа.

Плоскость рельефа (несмотря на расчлененность) на изучаемой территории протяженностью 50 км, предположительно, была полого наклонена (первые минуты) в юго-восточном направлении.

Рис. 3. Литологические типы ярактинского продуктивного горизонта: а, б) гравелиты средне-мелкозернистые, средне-крупнопесчаные, косослоистые. Литотип характерен для фаций: крупные (активные) приливно-отливные каналы. (а – фото керна, скв. Яр-154/13, гл. 2778,51 м; б – фото шлифа Яр-719/15, гл. 2857,72 м, николи //); в-г) аргиллиты тонко-параллельно-субгоризонтальнослоистые. Литотип характерен для фаций: иловая приливно-отливная равнина (в – фото керна, скв. Яр-609/10, гл. 2767,7 м; г – фото шлифа Яр-609/10, гл. 2767,7 м, николи //); д, е) песчаники мелко-среднезернистые (с послойной крупнопесчаной примесью), косо-волнисто-срезаннослоистые. Литотип характерен для фаций: бары приливно-отливной равнины (д – фото керна, скв. Яр-609/8, гл. 2766,7 м; е – фото шлифа Яр-306/6, гл. 2892,66, николи //); ж, з) песчаники средне-крупнозернистые с гравийной примесью до гравелитовых, косослоистые. Литотип характерен для фаций: распределительные субаквальные каналы (ж – фото керна, скв. Яр-343/12, гл. 2745,65 м; з – фото шлифа Яр-343/12, гл. 2745,65 м, николи //)

Fig. 3. Lithologic types of the Yarakta productive horizon: a, b) gravelites of medium-small-grained, medium-large-sand, oblique-layered type. The lithotype is characteristic of the facies: large (active) tidal channels. (a – photo of a core from Yar-154/13, hole 2778.51 m; b – photo of thin sections Yar-719/15, hole 2857.72 m, Nicoli //); c, d) argillites fine-parallel-subhorizontal-layered. The lithotype is characteristic of the facies: Silt Tidal Plain (c – photo of a core from Yar-609/10, Ch. 2767.7 m; d – photo of Yar-609/10 thin sections, Ch. 2767.7 m, Nicoli //); e, f) fine-medium grained sandstones (with layered coarse-sandy admixture), oblique-sloped-sandy-layered. The lithotype is characteristic of the facies: bars of the intertidal plain (e – photo of a core, Yar-609/8 well, hl 2766.7 m; f – photo of Yar-306/6 thin sheet, hl 2892.66, nicoli //); g, h) sandstones medium-large-grained with gravelly admixture to gravelly, oblique-layered. The lithotype is characteristic of facies: distributary subaquatic channels (g – photo of a core, Yar-343/12 well, depth 2745.65 m; h – photo of Yar-343/12 thin sheet, depth 2745.65 m, Nicoli //)

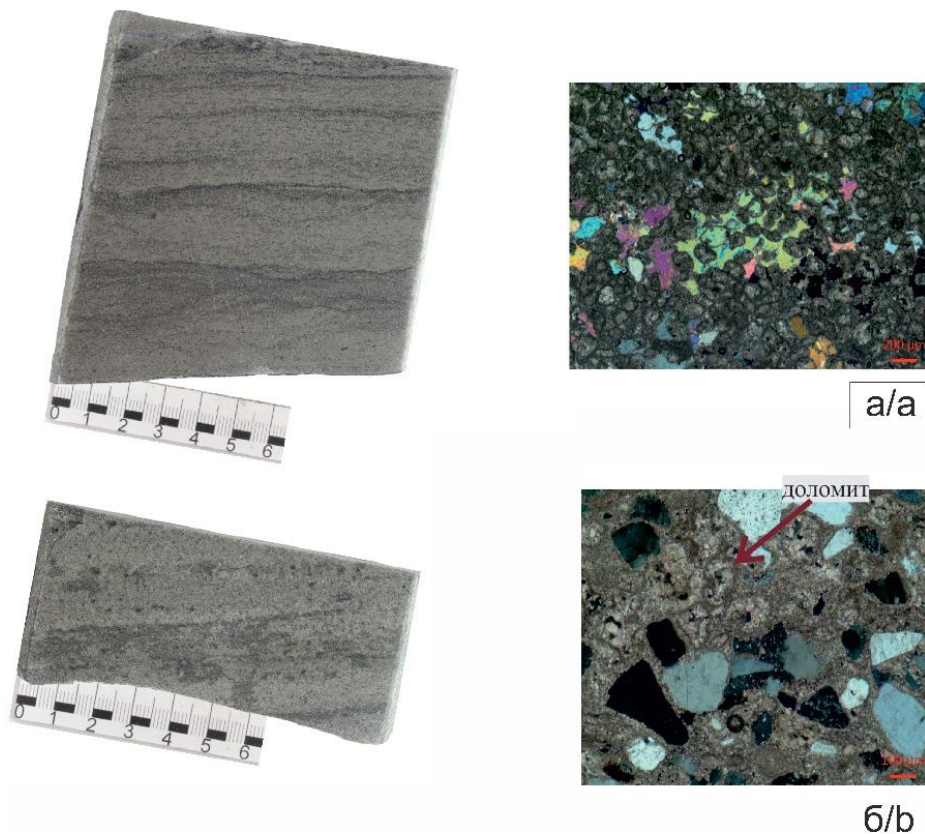


Рис. 4. Фотографии ядра и шлифов в скрещённых николях фации себхи
Fig. 4. Photographs of a core and thin sections in crossed nicols of the Sebka facies

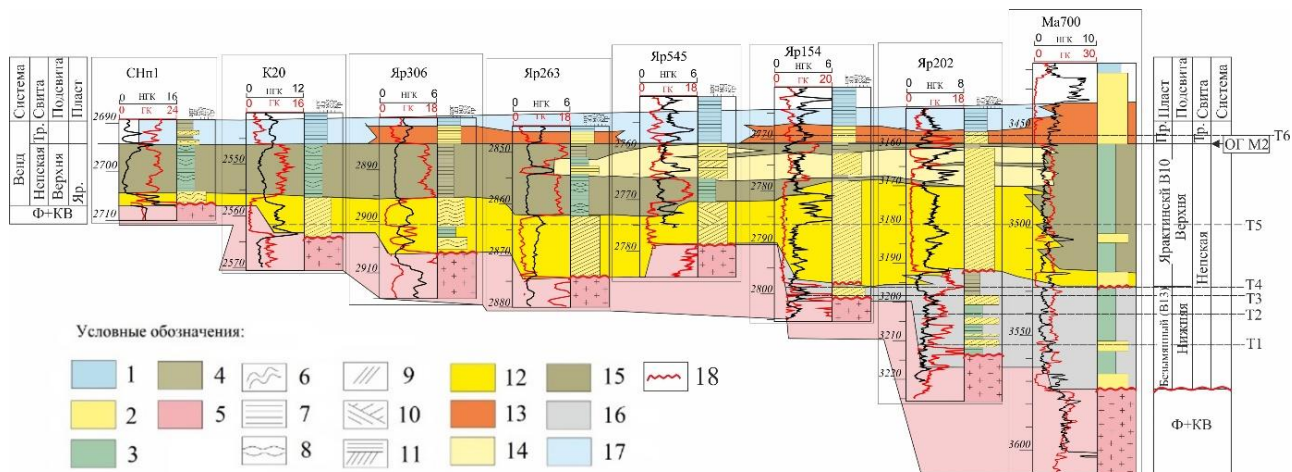


Рис. 5. Схематический литолого-фациальный профиль через Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение (1 – доломит; 2 – песчаник; 3 – алевролит; 4 – аргиллит; 5 – кора выветривания, фундамент; 6 – наклонно-волнистая текстура; 7 – горизонтальнослоистая текстура; 8 – волнисто-линзовиднослоистые и волнистослоистые текстуры; 9 – косослоистая текстура; 10 – перекрестнослоистая текстура; 11 – косо-срезанная текстура; фации: 12 – дельтовый комплекс (распределительные каналы, бары); 13 – бары приливо-отливной равнины, переходящей в себху; 14 – баровый комплекс; 15 – иловая приливо-отливная равнина; 16 – отложения нижненепской подситы; 17 – отложения турской свиты; 18 – граница несогласия
Fig. 5. Schematic lithologic-facial profile through the Yarakta oil and gas condensate field (1 – dolomite; 2 – sandstone; 3 – aleurolite; 4 – argillite; 5 – weatherstone, basement; 6 – slope-wave texture; 7 – horizontal-layered texture; 8 – wave-lens-layered and wavy-layered textures; 9 – cross-bedded texture; 10 – cross-layered texture; 11 – axis-cut texture; 12 – large (active) tidal channels; 13 – bars of tidal plain; 14 – distributary subaquatic channels; 15 – silt tidal plain; 16 – deposits of Lower Nepa subformation; 17 – small-water marine carbonates of Thirsk Formation); 18 – border of disagreement

Базальные отложения нижненепской подсвиты (пласт В13) на данной территории начали формироваться (сохраняться) в ее юго-восточной части в прибрежно-морских условиях на наклоненной к морю подводной абразионной террасе. В средненепское время (верхняя

часть пласта В13 и межпластовые перемычки) на фоне наступающей с юго-востока морской трансгрессии на большей части территории установились прибрежно-морские обстановки с обширной приливно-отливной иловой, алевро-иловой равниной (рис. 6).

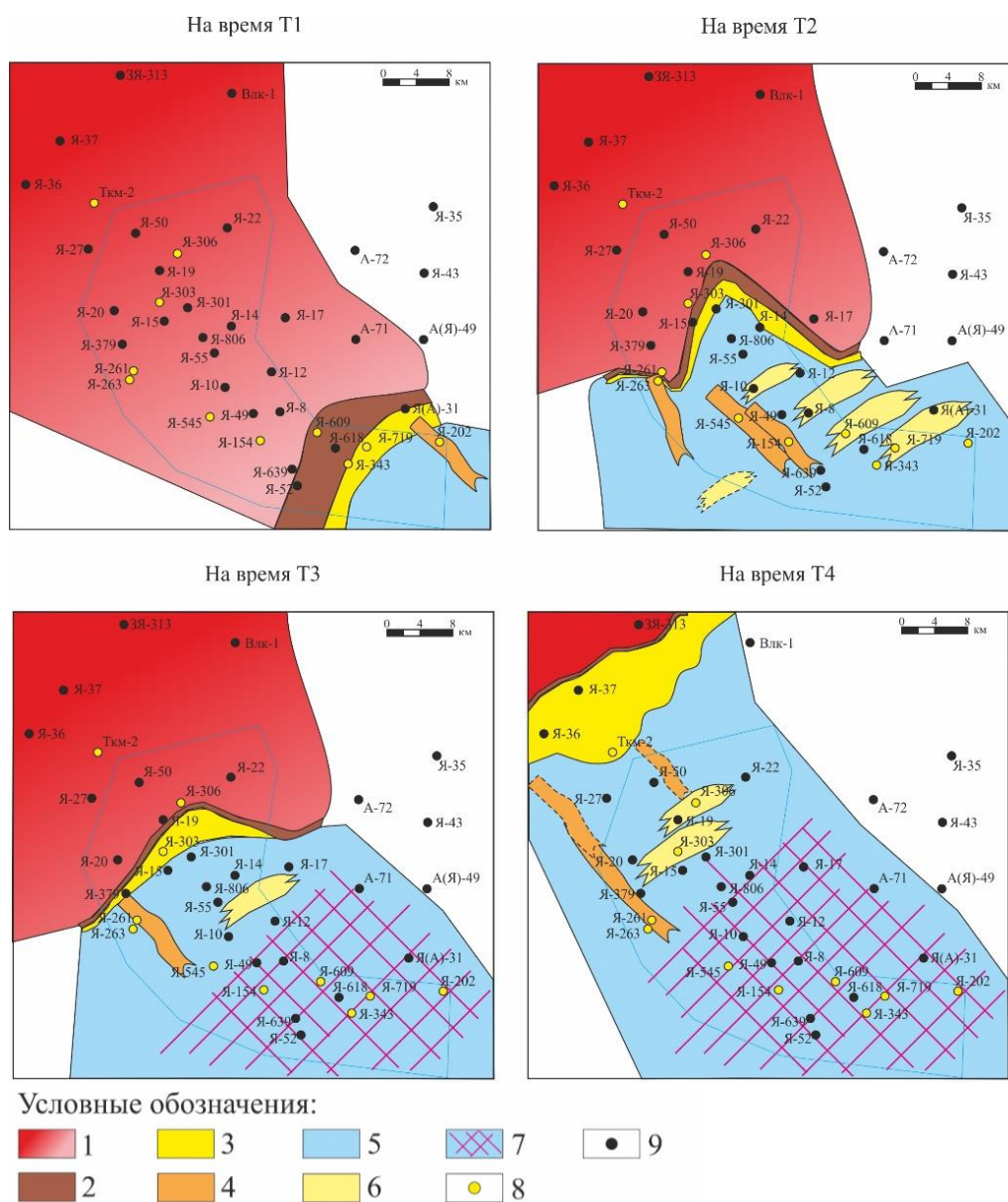


Рис. 6. Предполагаемая схема развития осадочного бассейна в ранненепское время (время формирования пласта В13) (1 – денудационная суша (гранито-гнейсы), рельеф расчленённый; 2 – абразионный берег; 3 – бечка, каменистый, галечно-гравийный пляж, в базальной части с большим количеством глины и фрагментов коры выветривания; 4 – каналы течений (на приливно-отливной равнине, одиночные и смещающиеся); 5 – приливно-отливная равнина; 6 – песчаные отмели, ласкутные пески, сформированные на приливно-отливной равнине; 7 – область размыва ранненепских отложений в период последующей регрессии; 8 – скважины с детальным литологическим исследованием керна; 9 – скважины, пробуренные до 2000 г.)

Fig. 6. Supposed scheme of development of the sedimentary basin in the Early Nepa time (the time of formation of bed В13) (1 – denudation land (granite-gneiss), relief dissected; 2 – abrasion shore; 3 – bench, stony, pebble-gravel beach, in the basal part with a lot of clay and fragments of weathering crust; 4 – current channels (on the tidal plain, solitary and shifting); 5 – tidal plain; 6 – sandbanks, flappy sands formed on the tidal plain; 7 – area of erosion of Early Nepa deposits during regression; 8 – holes with detailed lithological core studies; 9 – wells drilled before 2000)

В поздненепское время (пласт В10) на максимуме регрессии в северо-, северо-западной части территории активизировался источник сноса обломочного материала, возобновляя флювиальный режим осадконакопления. Флювиальные потоки с обломочным материалом, «проходя» через изучаемую зону, «врезались» в уже накопившиеся осадки и размывали их. В пределах изучаемой территории в это время существовала частично субаэральная и в большей степени субаквальная дельтовая равнина (нижняя дельтовая равнина) в пределах приливно-отливного побережья. По имеющимся для интерпретации данным можно предположить, что это дельта выдвигания – на побережье с преобладанием приливно-отливной деятельности и в меньшей степени волновой (смешанный тип побережья). В пределах дельтовой нижней равнины и фронта дельты были развиты вышеописанные фации. В последующую трансгрессию, в конце непского времени (верхняя часть пласта В10), на месте дельтовой равнины начинает формироваться баровая система с продвижением баров в сторону условной береговой линии. Можно предположить, что бары имели вытянутую вдоль условного берега чечевицеобразную форму. При формировании баров за счет активной волновой и приливной деятельности перетлагались и пересортировывались осадки, выносимые дельтой (деятельность которой затухала).

На границе поздненепского и раннетирского времени вся территория представляла собой мелководную приливно-отливную и терригенную себху (лагуну) с глинисто-алевритовыми осадками и сульфатно-карбонатными включениями в них. Интерес представляют крупные песчаные бары (рис. 7).

На границе поздненепского и раннетирского времени вся территория представляла собой мелководную приливно-отливную и терригенную себху (лагуну) с глинисто-алевритовыми осадками и сульфатно-карбонатными включениями в них. Интерес представляют крупные песчаные бары (рис. 7).

Рассматривая связь качества ФЕС пород-коллекторов с фациальной принадлежностью, можно заметить, что улучшенные ФЕС связаны с фациями распределительных субаквальных каналов и крупных (активных) приливно-отливных каналов [18, 19]. Анализируя ФЕС пород-коллекторов ярактинского горизонта в целом, можно отметить, что горизонт характеризуется достаточно хорошими коллекторскими характеристиками. Максимально суммарная доля в разрезе вышеуказанных фаций в пределах юго-восточной и центральной части района исследований составляет от 50 % и выше (50–70 %). Данные показатели можно считать прогнозными со средним качеством коллектора.

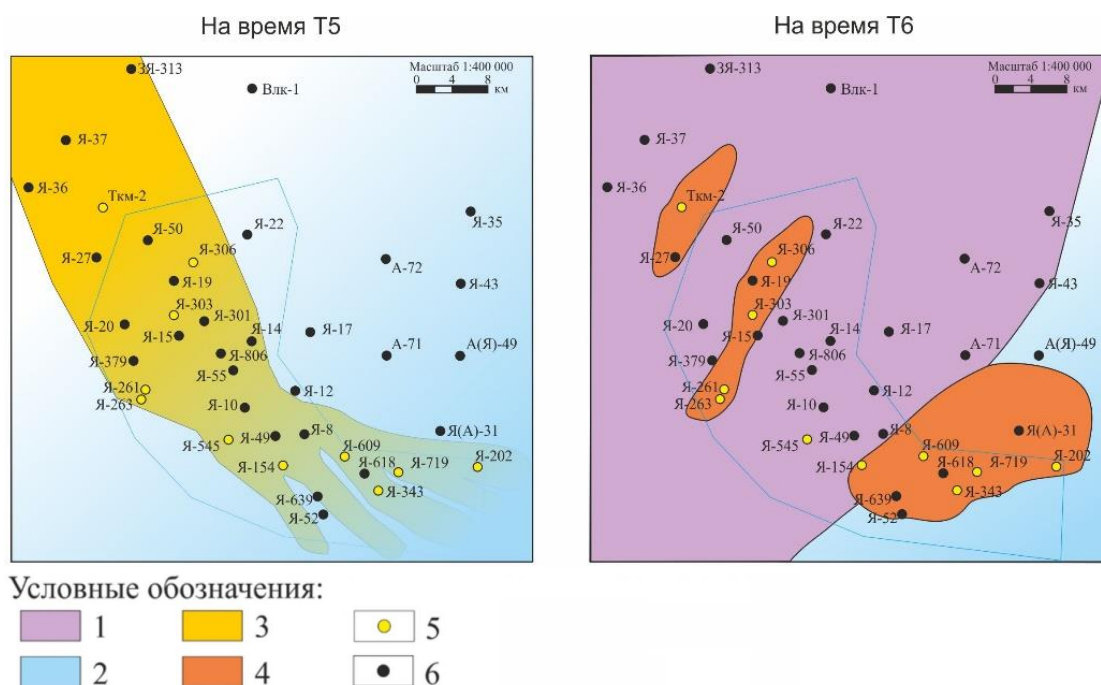


Рис. 7. Предполагаемая схема развития осадочного бассейна в поздненепское время (время формирования пласта В10) (1 – терригенно-сульфатно-карбонатная себха; 2 – приливно-отливная равнина; 3 – распределительные каналы подводной части дельты; 4 – бары (крупные); 5 – скважины с детальным литологическим исследованием керна; 6 – скважины, пробуренные до 2000 г.)

Fig. 7. Proposed pattern of development of sedimentary observation in the Late Nepa time (time of formation of the V10 layer) (1 – terrigenous sulfate-carbonate sebkha; 2 – tidal observations; 3 – distributive observations of the underwater part of the delta; 4 – bars (large); 5 – wells with detailed lithological core study, 6 – wells drilled before 2000)

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ межскважинной корреляции и распределение толщин позволили авторам выделить пологие палеодолины, по которым в непское время происходила разгрузка основных водотоков: Даниловского, Дулисминского, Аянского, Ярактинского, Марковского, Большеতিরского и Верхнетирского. К данным водотокам приурочены месторождения УВ с коллекторами в непской свите.
2. Литолого-фациальный анализ керн с привлечением данных по петрографии позволил установить, что изучаемые отложения формировались в прибрежно-морских обстановках приливно-отливного побережья в пределах крупного дельтового комплекса. В пределах Ярактинского месторождения в поздненепское время существовала дельта выдвигания – на побережье с преобладанием приливно-отливной деятельности и в меньшей степени волновой – смешанный тип побережья. Выделены следующие фации: дельтовый комплекс (распределительные каналы, бары); иловая приливно-отливная равнина; бары приливно-отливной равнины; распределительные субаквальные каналы; себха.
3. Порода с хорошими ФЕС связаны с фациями распределительных субаквальных каналов и крупных (активных) приливно-отливных каналов.
4. Восстановлены и проиллюстрированы основные этапы развития изучаемой территории в непское время.

Таким образом, полученные результаты позволят скорректировать сейсмогеологический прогноз фациальной неоднородности и геологическую модель пластов В13 и В10, а также с учётом пространственного развития и фильтрационно-емкостной неоднородности выделяемых фаций оптимизировать процесс разработки залежей углеводородов, сосредоточенных в этих пластах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структурно-тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы / под ред. В.С. Старосельцева. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2013. URL: <http://www.sniiggims.ru/maps/strtect.html> (дата обращения 01.02.2023).
2. Jones R., Marcelissen R., Fralick P. Sedimentology and Stratigraphy of a large, pre-vegetation deltaic complex // *Front. Earth Sci.* – 2022. – V. 10. – P. 1–27. DOI: 10.3389/feart.2022.875838
3. Davis Jr. R.A., Dalrymple R.W. Principles of tidal sedimentology. – Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012. – 621 p.
4. Sedimentary processes, environments and basins: a tribute to Peter Friend / Eds. G. Nichols, E. Williams, Ch. Paola. – Oxford: Blackwell Publ., 2007. – 628 p.
5. Posamentier H., Allen G. Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. – Tulsa; SEPM: Society for Sedimentary Geology, 1999. – V. 7. – 210 p.
6. Secondary processes in reservoir rocks of the Yarakta Horizon on the southeastern slope of the Nepa-Botuoba Anticline / O.V. Postnikova, A.V. Postnikov, E.S. Konoval'tseva, V.G. Toporkov, S.I. Savchenko // *Lithology and Mineral Resources.* – 2011. – V. 46. – № 5. – P. 447–456.
7. Selley R.C. Applied sedimentology. 2nd revised ed. – San Diego, USA: Elsevier Science Publ. Co Inc, 2000. – 523 p.
8. Catuneanu O. Principles of sequence stratigraphy. 2nd ed. – Alberta: Elsevier, 2022. – 486 p.
9. Решения четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – 64 с.
10. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н.В. Мельников, М.С. Якшин, Б.Б. Шишкин, А.О. Ефимов, Г.А. Карлова. – Новосибирск: Гео, 2005. – 432 с.
11. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Изд. 2-е, доп. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. – 177 с.
12. Sustainable development of Russian energy sector: hydrocarbons of Eastern Siberia / I. Filimonova, A. Komarova, V. Nemov, I. Provornaya // *The 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management. Book of Abstracts.* – Albena, Bulgaria, 16–25 August 2020. – P. 777–783.
13. Фундамент и кора выветривания в пределах Чонской группы месторождений / В.В. Пустыльников, Н.С. Сентякова, Н.А. Иванова, В.С. Воробьев // *ГеоБайкал-18: тезисы конференции EAGE.* – Иркутск, 2018. – У0101-10.
14. Данилкин С.М. О баровом типе Марковской и Ярактинской зон нефтегазоаккумуляции // *Геология нефти и газа.* – 1980. – № 6. – С. 14–20.
15. Железнова А.П., Кулькова А.А., Царев А.В. Условия седиментации песчаных тел и характер развития пород-коллекторов на примере Ярактинско-Аянской и Дулисминско-Аянской зон Непско-Ботубобинской антеклизы // *Нефтегазоносность юга Сибирской платформы.* – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1986. – С. 48–56.
16. Фациально-палеогеоморфологическая обстановка формирования ярактинского горизонта юго-восточной части Непско-Ботубобинской антеклизы / П.Т. Савинкин, В.Г. Кузнецов, Л.Н. Илюхин, Г.И. Тихомирова // *Геол. нефти и газа.* – 1991. – № 12. – С. 8–12.
17. Фациально-палеогеографические реконструкции для постгляциальных отложений венда юго-востока Непско-Ботубобинской антеклизы / Е.С. Изъюрова, О.В. Постникова, А.В. Постников, О.А. Зуева // *Литология и полезные ископаемые.* – 2020. – № 5. – С. 419–437.
18. Колотовкина М.Ю. Фациальное районирование продуктивных отложений венда Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.* – 2018. – № 3. – С. 14–25.

19. Плюснин А.В., Ибрагимов Р.Р., Гёкче М.И. История геологического развития юга Непско-Ботуобинской антеклизы в непское и тирское время // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 9. – С. 21–25.
20. Tye R.S., Lowe D.R., Hickey J.J. Ediacaran (Vendian)-period alluvial and coastal geomorphology applied to development of Verkhnechonskoye and Yaraktskoye fields, East Siberia, Russian Federation // Journal of Sedimentary Research. – 2020. – V. 90. – № 1. – P. 67–101.

REFERENCES

1. *Strukturo-tektonicheskaya karta neftegazonosnykh provintsiy Sibirskoy platformy* [Structural and tectonic map of oil-and-gas-bearing provinces of the Siberian platform]. Ed. by V.S. Staroseltsev. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2013. Available at: <http://www.sniiggims.ru/maps/strtect.html> (accessed 1 February 2023).
2. Jones R., Marcelissen R., Fralick P. Sedimentology and stratigraphy of a large, pre-vegetation deltaic complex. *Front. Earth Sci.*, 2022, vol. 46, pp. 1–27. DOI: 10.3389/feart.2022.875838
3. Davis Jr. R.A., Dalrymple R.W. *Principles of tidal sedimentology*. Dordrecht, Netherlands, Springer, 2012. 621 p.
4. *Sedimentary processes, environments and basins: a tribute to Peter Friend*. Eds. G. Nichols, E. Williams, Ch. Paola. Oxford, Blackwell Publ., 2007. 628 p.
5. Posamentier H.W., Allen G.P. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. Tulsa, USA, SEPM, SEPM, Society for Sedimentary Geology, 1999. Vol. 7, 210 p.
6. Postnikova O.V., Postnikov A.V., Konoval'tseva E.S., Toporkov V.G., Savchenko S.I. Secondary processes in reservoir rocks of the Yarakta Horizon on the southeastern slope of the Nepa-Botuoba Antecline. *Lithology and Mineral Resources*, 2011, vol. 46, no. 5, pp. 447–456.
7. Selley R.C. *Applied sedimentology*. 2nd revised ed. San Diego, USA, Elsevier Science Publishing Co Inc, 2000. 523 p.
8. Catuneanu O. *Principles of sequence stratigraphy*. 2nd ed. Alberta, Elsevier, 2022. 486 p.
9. *Resheniya chetvertogo Mezhdomstvennogo regionalnogo stratigraficheskogo soveshchaniya po utochneniyu i dopolneniyu stratigraficheskikh skhem venda i kembriya vnutrennikh rayonov Sibirskoy platformy* [Decisions of the Fourth Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on Refinement and Supplementation of the Vendian and Cambrian Stratigraphic Schemes of the Interior of the Siberian Platform]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1989. 64 p.
10. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., Efimov A.O., Karlova G.A. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of oil and gas bearing basins of Siberia. Riphean and Vendian of the Siberian platform and its folded frame]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 432 p.
11. Melnikov N.V. *Vend-kembriyskiy solenosny basseyn Sibirskoy platformy (stratigrafiya, istoriya razvitiya)* [Vendian-Cambrian saline basin of the Siberian platform (stratigraphy, history of development)]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2018. 177 p.
12. Filimonova I., Komarova A., Nemov V., Provornaya I. Sustainable development of Russian energy sector: hydrocarbons of Eastern Siberia. *The 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management. Book of Abstracts*. Albena, Bulgaria, 16–25 August 2020. pp. 777–783.
13. Pustynnikova V.V., Sentyakova N.S., Ivanova N.A., Vorobyov V.S. Fundament i kora vyvetrivaniya v predelakh Chonskoy gruppy mestorozhdeniy [Foundations and weathering crust within Chonskaya group of deposits]. *GeoBaykal-18: tezisy konferentsii EAGE* [GeoBaikal-18: Abstracts of the EAGE Conference]. Irkutsk, 2018. pp. 1–10.
14. Danilkin S.M. O barovom tipe Markovskoy i Yaraktskoy zon neftegazonakopleniya [On the bar type of Markov and Yarakta oil and gas accumulation zones]. *Geology of oil and gas*, 1980, no. 6, pp. 14–20.
15. Zheleznova A.P., Kulkova A.A., Tsarev A.V. Usloviya sedimentatsii peschanykh tel i kharakter razvitiya porod-kollektorov na primere Yaraktsko-Ayanskoy i Dulisminsko-Ayanskoy zon Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [Conditions of sand body sedimentation and character of reservoir rocks development by example of Yaraktsko-Ayanskaya and Dulisminsko-Ayanskaya zones of the Nepsko-Botuobinskaya antecline]. *Neftegazonosnost yuga Sibirskoy platformy* [Oil and gas content of the southern Siberian platform]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1986. pp. 48–56.
16. Savinkin P.T., Kuznetsov V.G., Ilyukhin L.N., Tikhomirova G.I. Fatsialno-paleogeomorfologicheskaya obstanovka formirovaniya yaraktskogo gorizonta yugo-vostochnoy chasti Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [Facial-paleogeomorphological setting of the Yarakta horizon in the southeastern part of the Nepsko-Botuobinskaya antecline]. *Geologiya nefiti i gaza*, 1991, no. 12, pp. 8–12.
17. Izyurova E.S., Postnikova O.V., Postnikov A.V., Zueva O.A. Facies and Paleogeographic Reconstructions of Postglacial Vendian Deposits of the South-East Nepa-Botuoba Antecline. *Lithology and Mineral Resources*, 2020, no. 5, pp. 419–437. In Rus. DOI: 10.31857/S0024497X20050055
18. Kolotovkina M.Yu. Facial zoning of productive Vendian deposits of the Yarakta oil and gas condensate field. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2018, no. 3, pp. 14–25. In Rus. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-3-14-25
19. Plusnin A.V., Ibragimov R.R., Gekche M.I. The history of the geological development of the south of the Nepa-Botuoba antecline during Nepa and Tira time. *Oil economy*, 2020, no. 9, pp. 21–25. In Rus. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-9-21-25
20. Tye R.S., Lowe D.R., Hickey J.J. Ediacaran (Vendian)-period alluvial and coastal geomorphology applied to development of Verkhnechonskoye and Yaraktskoye fields, East Siberia, Russian Federation. *Journal of Sedimentary Research*, 2020, vol. 90 (1), pp. 67–101. DOI: <https://doi.org/10.2110/jsr.2020.8>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Владимирович Плюснин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. a.v.plyusnin@mail.ru; шифр специальности ВАК: 24.1.062.02

Наталья Алексеевна Иванова, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела геологии Восточной Сибири АО «СНИИГГиМС», Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67. nataivanova76@rambler.ru

Наталья Сергеевна Сентякова, ведущий инженер лаборатории литологии нефтегазоносных отложений АО «СНИИГГиМС», Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67. SetniakovaNS@rusgeology.ru

Дмитрий Андреевич Староселец, аспирант, лаборант-исследователь лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. d_star1997@mail.ru

Марьяна Игоревна Гекче, начальник отдела, ООО «Иркутская нефтяная компания», Россия, 664007, г. Иркутск, Большой Литейный пр., 4. ovchin.m.i.@gmail.com

Марина Юрьевна Никулина, аспирант Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. kolotovkinamarina@yandex.ru

Евгений Владимирович Никулин, аспирант Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. nikulinev80@gmail.com

Владимир Александрович Фомин, аспирант Института Земной Коры СО РАН, Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128. fovarid@yandex.ru

Поступила в редакцию: 22.03.2023

Поступила после рецензирования: 30.03.2023

Принята к публикации: 04.04.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksey V. Plusnin, Cand. Sc., Senior Researcher, Tyumen State University, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. a.v.plyusnin@mail.ru

Natalya A. Ivanova, Cand. Sc., Head of East Siberia Geology Department, JSC SNIIGGiMS, 67, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russian Federation. nataivanova76@rambler.ru

Natalia S. Sentyakova, Leading Engineer, JSC SNIIGGIMS, 67, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russian Federation. SetniakovaNS@rusgeology.ru

Dmitry A. Staroselets, Postgraduate Student, Tyumen State University, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. d_star1997@mail.ru

Maryana I. Gekche, Head of Department, Irkutsk Oil Company, 4, Bolshoy Liteyny avenu, Irkutsk, 664007, Russian Federation. ovchin.m.i.@gmail.com

Marina Y. Nikulina, Postgraduate Student, Tyumen State University, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. kolotovkinamarina@yandex.ru

Evgeniy V. Nikulin, Postgraduate Student, Tyumen State University, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. nikulinev80@gmail.com

Vladimir A. Fomin, Postgraduate Student, Institute of Terrestrial Bark, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128, Lermontov street, Irkutsk, 664033, Russian Federation. fovarid@yandex.ru

Received: 22.03.2023

Revised: 30.03.2023

Accepted: 04.04.2023