

УДК 552 (571.5)

ЛИТОЛОГИЯ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛЕНО-АНАБАРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Вараксина Ирина Валерьевна¹,
varaksinalV@ipgg.sbras.ru

Шаваров Роман Дмитриевич²,
shavarov_rd@irkutskoil.ru

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

² ООО «Иркутская нефтяная компания», Россия, 664007, г. Иркутск, пр. Большой Литейный, 4.

Актуальность исследования. В настоящее время одним из приоритетных направлений в расширении углеводородной базы России стало исследование и освоение её северных окраин. Лено-Анабарская нефтегазоносная область располагается на севере Сибирской платформы и характеризуется очень неравномерной геолого-геофизической изученностью. Наиболее слабо изучены докембрийские отложения, несмотря на их достаточно высокий коллекторский потенциал, а также прямые и косвенные признаки нефтегазоносности. Для более эффективного проведения дальнейших геологоразведочных работ в этом регионе необходимо детальное изучение пробуренных ранее разрезов с выявлением литологических особенностей пород-коллекторов, условий их формирования и распространения.

Объект: отложения докембрия, вскрытые глубоким бурением на территории Лено-Анабарской нефтегазоносной области.

Цель: на основе анализа состава, строения, обстановок осадконакопления и коллекторских свойств докембрийских отложений Лено-Анабарской нефтегазоносной области выделить перспективные резервуары углеводородов.

Методы: построение разрезов докембрийских отложений на основе детального макро- и микроскопического изучения kernового материала и данных ГИС; корреляция разрезов с учетом литологических, палеонтологических и геофизических данных; генетический анализ основных литологических типов пород и расшифровка условий их седиментации; оценка влияния седиментационных и постседиментационных факторов на формирование коллекторских свойств; выделение уровней потенциальных коллекторов.

Результаты. Установлено, что докембрийский разрез представлен чередованием пачек карбонатных и терригенных пород, накопление которых происходило в широком спектре обстановок: от дельтовых до сублиторальных при существенном преобладании мелководно-морской седиментации. Выявлено, что в отложениях докембрия присутствуют потенциальные породы-коллекторы, причем наиболее перспективные уровни приурочены к вендской части разреза.

Ключевые слова:

Лено-Анабарская нефтегазоносная область, литология, коллекторы, верхний рифей, венд.

Введение

Начало интенсивного исследования Лено-Анабарской нефтегазоносной области (НГО) приходится на 50–70-е гг. XX в. В этот период был выполнен большой объем геолого-геофизических работ и пробурено несколько неглубоких скважин. В результате чего стало возможным обоснование высоких перспектив нефтегазоносности района [1, 2]. С 80–90-х гг. была отработана сеть сейсмических профилей и пробурена серия параметрических скважин, вскрывших глубокие горизонты осадочного чехла, в которых были отмечены многочисленные битумо-, нефте- и газопроявления, а также получены интенсивные притоки пластовых вод с растворенным углеводородным газом. Несмотря на отсутствие выявленных залежей, многие исследователи считают, что исследуемый район обладает хорошим нефтегазовым потенциалом [3–8 и др.]. В пользу этого свидетельствуют промышленные притоки нефти в расположенной западнее Хатангской седловине, а также наличие Оленекского битумного поля в юго-восточном обрамлении Лено-Анабарской НГО [9, 10]. Однако в виду низкой изученности рассматриваемой территории глубоким бу-

рением (всего шесть скважин) возникает необходимость более детального литологического изучения этих разрезов, направленного на выявление потенциальных резервуаров углеводородов. Результаты этих исследований приведены ниже и основаны на анализе kernового материала, отобранного сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Геологическая позиция и стратиграфия района исследования

Лено-Анабарская нефтегазоносная область занимает территорию Лено-Анабарского регионального прогиба, располагающегося в северной части Сибирской платформы, и входит в состав Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (рис. 1) [4, 5, 8]. Осадочный чехол Лено-Анабарской НГО сложен верхнепротерозойскими, палеозойскими и мезозойскими отложениями, мощностью до 2–9 км, среди которых рифей-вендские породы занимают значительный объем. Объектом исследования стали отложения докембрия, вскрытые глубокими скважинами Чарчикская-1 и Хастангская-930 в центральной части НГО, а также скважиной Бурская-3410, расположенной на её юж-

ной окраине (рис. 1). Для Анабаро-Ленского прогиба характерно несовпадение рифейского и венд-палеозойского структурных планов, что обусловлено байкальским тектоногенезом [4, 7, 8]. Состав и толщина верхнерифейского комплекса в рассматриваемых разрезах достаточно выдержанные. Это свиде-

тельствует о тектонически-спокойных условиях и слабой дислоцированности территории во время его формирования. Вендские отложения отличаются более изменчивым составом и строением, что предполагает более расчлененный рельеф области седиментации.



Рис. 1. Обзорная карта расположения Лено-Анабарской НГО на основе нефтегазогеологического районирования [5].
Условные обозначения: 1 – границы нефтегазоносных провинций; 2 – границы нефтегазоносных областей; 3 – нефтегазоносные провинции (НГП): I – Лено-Тунгусская, II – Лено-Вилуйская, III – Лаптевская; 4 – скважины

Fig. 1. Overview map of the location of the Leno-Anabar oil-and-gas region based on petroleum geological zonation [5].
Legend: 1 – borders of petroleum provinces; 2 – borders of oil-and-gas regions; 3 – petroleum provinces (NGP): I – Leno-Tunguska, II – Leno-Vilyui, III – Laptev; 4 – wells

Относительно стратиграфического расчленения верхнепротерозойских отложений, вскрытых рассматриваемыми скважинами, существуют разные точки зрения. На первоначальном этапе изучения за основу была взята стратиграфическая схема Оленекского поднятия, согласно которой в этих разрезах были выделены все литостратиграфические подразделения с нижнего рифея до венда [11–13]. Эта схема достаточно популярна среди исследователей и в настоящее время [4, 7, 14]. Однако последние палеонтологические и сейсмостратиграфические данные достаточно убедительно свидетельствуют об отсутствии нижне-среднерифейских отложений в скважинах Лено-Анабарского прогиба [8, 15]. Поэтому в данной работе авторы опирались на новый вариант расчленения и корреляции [15], согласно которому наиболее полный разрез, вскрытый скважиной Бурская-3410, сложен тукуланской, куладинской, хастахской, таймыльской свитами верхнего рифея и двумя сериями венда: хорбусуонской и кессюсинской (рис. 2).

Литологическая характеристика рифейского разреза

В основании верхнерифейского разреза залегает тукуланская свита, подразделяющаяся на две под-свиты: нижнюю терригенную и верхнюю карбонатную (рис. 3). В скважине Бурская-3410 она представлена практически в полном объеме (вскрытая мощность 348 м). В нижней подсвите доминируют зеле-

новато-серые аргиллиты, субгоризонтально-слоистые, реже косослоистые за счет тонких (от 5 до 20 мм) слоев алевролитов и мелкозернистых песчаников. Периодически фиксируются очень тонкие (5–10 мм) прослои глинистых доломитов. Верхняя подсвита, вскрытая также скв. Хастахская-930, полностью сложена доломитами светло-серыми с зеленоватым или коричневым оттенками, сильно перекристаллизованными до полной утраты первичной структуры, трещиноватыми, кавернозными. В кровле появляются прослои серых аргиллитов.

Вышележащая куладинская свита, несмотря на меньшую мощность (172–270 м), характеризуется аналогичным двучленным строением. Нижняя подсвита представлена переслаиванием аргиллитов тонкослоистых алевритистых, глинистых доломитов, известняков и песчаников. В южном разрезе (скв. Бурская-3410) преобладают песчаные породы. Песчаники буровато-серые мелко- и мелко-среднезернистые с однородно-массивной текстурой, изредка с тонкой горизонтальной и криво-слоистой за счет микрослоев темных аргиллитов. По составу в основном полевошпатово-литокластово-кварцевые с глинисто-кварцевым, железисто-карбонатным, реже регенерационным кварцевым цементом. В центральной части НГО (скв. Хастахская-930) доминируют глинистые породы. Аргиллиты темно-зеленовато-серые тонкогоризонтально-сло-

стые, часто алевритистые, в разной степени карбонатизированные. Наблюдается повсеместное возрастание содержания карбонатной составляющей в верх по разрезу. *Верхняя подстила* почти полностью состоит из карбонатных пород с редкими прослоями в нижней и верхней частях известковых аргиллитов. Карбонат-

ная часть представлена доломитами светло-серыми, иногда известковистыми, кремнистыми и слабо глинистыми, с реликтами зернистой и строматолитовой структур. Породы часто трещиновато-кавернозные, участками сильно кавернозные с примазками битуминозного вещества на стенках каверн.

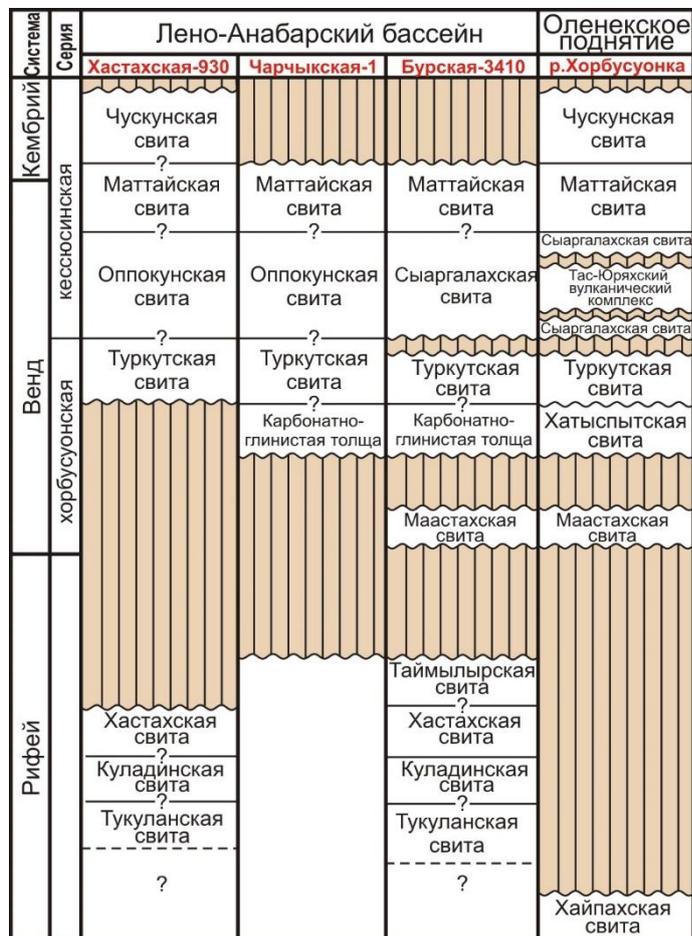


Рис. 2. Стратиграфическая схема неопротерозойских отложений Лено-Анабарского бассейна и прилегающего северо-западного склона Оленекского поднятия [15]

Fig. 2. Stratigraphic scheme of the Neoproterozoic deposits of Lena-Anabar Basin and the adjacent north-western slope of Olenek uplift [15]

Хастанская свита в отличие от нижележащих имеет относительно выдержанный состав. Кровля свиты в скв. Хастанская-930 размыва, но, учитывая сходство с южным разрезом, можно предположить, что её мощность не превышала 400 м. Свита выделяется более пестроцветной окраской и сложена переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В центральной части НГО в целом преобладают песчаные породы, причем разнозернистые, плохо сортированные, часто с примесью гравийного материала. На юге (скв. Бурская-3410) наблюдается уменьшение количества и мощности песчаных прослоев, а также доминирование более мелкозернистых разновидностей. По составу песчаники кварцевые, полевошпатово-кварцевые и полевошпатово-литокластово-кварцевые с глинистым, железисто-глинистым, карбонатно-глинистым и реже регенерационным кварцевым цементом. Характерно развитие различных ти-

пов слоистости: субгоризонтальной, косой, линзовидной, волнистой и фазерной. Алевролиты часто глинистые, нередко с тонкими горизонтальными и косыми слоями мелкозернистых песчаников. В нижней части свиты алевролиты линзовидно- и волнистослоистые, иногда со знаками ряби волнения. Аргиллиты в основном алевритистые, иногда доломитистые, с тонкой горизонтальной, реже линзовидной слоистостью, с редкими слоями мелкозернистых песчаников. В обоих разрезах присутствуют редкие прослои зеленовато-серых доломитов.

Завершает рифейский разрез *таймыльрская свита*, сохранившаяся на юго-западе рассматриваемой территории (скв. Бурская-3410), вскрытая мощность которой 370 м. Прикровельная часть разреза пройдена без выноса керна, однако, судя по каротажу, верхняя граница свиты несогласная, что предполагает её частичный размыв в предвендское время. Вскрытые

отложения представлены серыми доломитами, прослоями с многочисленными волнистыми слоями зеленовато-серых аргиллитов. Наблюдается переслаивание строматолитовых и зернистых (сгустково-

комковатых, оолито-пизолитовых и интракластических) разновидностей. Участками породы кремнистые, битуминозные, местами трещиноватые и кавернозные.

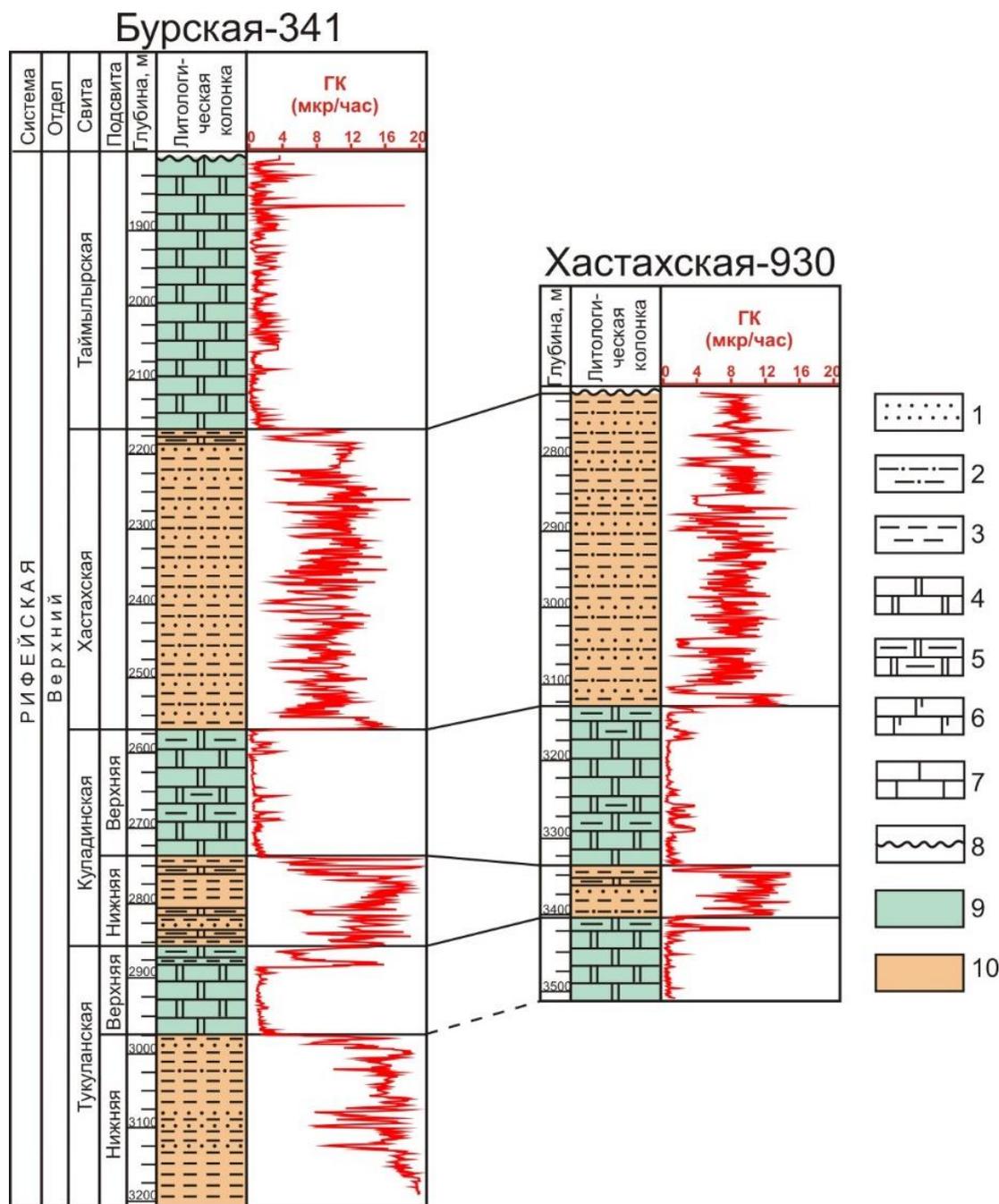


Рис. 3. Литолого-стратиграфическое расчленение и корреляция рифейских отложений. Условные обозначения: 1–7 – породы: 1 – песчаники, 2 – алевролиты, 3 – аргиллиты, 4 – доломиты, 5 – доломиты глинистые, 6 – доломиты известковые и известняки доломитовые, 7 – известняки; 8 – стратиграфический перерыв; 9, 10 – литологические комплексы: 9 – карбонатные, 10 – терригенные

Fig. 3. Lithologic-stratigraphic division and correlation of Riphean deposits. Legend: 1–7 – rocks: 1 – sandstone, 2 – siltstone, 3 – argillite, 4 – dolostone, 5 – shaly dolostone, 6 – calcareous dolostone and dolomite limestones, 7 – limestone; 8 – stratigraphic interruption; 9, 10 – lithologic complexes: 9 – carbonate, 10 – terrigenous

Литологическая характеристика вендского разреза

Венд представлен двумя сериями (рис. 4). Нижняя хорбузонская серия подразделяется на три свиты. В основании залегает маастахская свита, выделен-

ная в скв. Бурская-3410, мощностью 60 м, сложенная бурыми и зеленовато-серыми алевролитами, алевропесчаниками и песчаниками. Песчаники средне-мелкозернистые плохо сортированные, полевошпато-

во-литокластово-кварцевые с карбонатно-железистым цементом. Породы горизонтально- и косослоистые. В разрезах центральной части НГО свита отсутствует вследствие размыва, который также частично уничтожил её отложения на юге.

Выше с перерывом залегает *карбонатно-глинистая толща*, вскрытая в скважинах Бурская-3410 (220 м) и Чарчикская-1 (110 м), являющаяся стратиграфическим аналогом хатыспытской свиты (рис. 2), выделенной на северо-западном склоне Оленекского поднятия в бассейне р. Хорбусуонка [15, 16]. В составе толщи наблюдается переслаивание темно-серых доломитов, доломитизированных известняков и зеленовато-серых доломитово-известковых аргиллитов. Карбонатная часть в южном разрезе представлена преимущественно доломитами, а севернее (скв. Чарчикская-1) преобладают известняки.

Верхняя *туркутская свита* представлена во всех разрезах и характеризуется изменчивой мощностью, но относительно выдержанным составом. Наблюдается сокращение мощности в западном и южном направлениях от 207 м (скв. Чарчикская-1) до 118 м (скв. Хастахская-930) и 160 м (скв. Бурская-3410).

Свита сложена серыми доломитами в разной степени известковистыми и известняками доломитизированными. Наблюдается переслаивание строматолитовых, микрофитолитовых, микритовых и зернистых (с комками и интракластами) литотипов. В породах фиксируются многочисленные стилолиты, по которым развивается битуминозное вещество, а также трещины и каверны выщелачивания. В наиболее мощном разрезе (скв. Чарчикская-1) в подошве залегают чёрные битуминозные, кавернозные известняки. Отдельные каверны достигают 25 см. На свежем сколе в керне фиксируется характерный запах УВ.

Кессюсинская серия имеет двучленное строение. В центральной части НГО в её основании залегает существенно глинистая *оппокунская свита* (мощностью 190–290 м), в составе которой доминируют пестроцветные аргиллиты. Породы горизонтально, волнисто и косослоистые, часто известковистые, с прослоями известняков, находятся в тонком переслаивании с алевролитами и песчаниками. В южном разрезе оппокунской свиты стратиграфически соответствует преимущественно песчаная *сыаргалахская свита*, мощность которой значительно меньше (30 м).

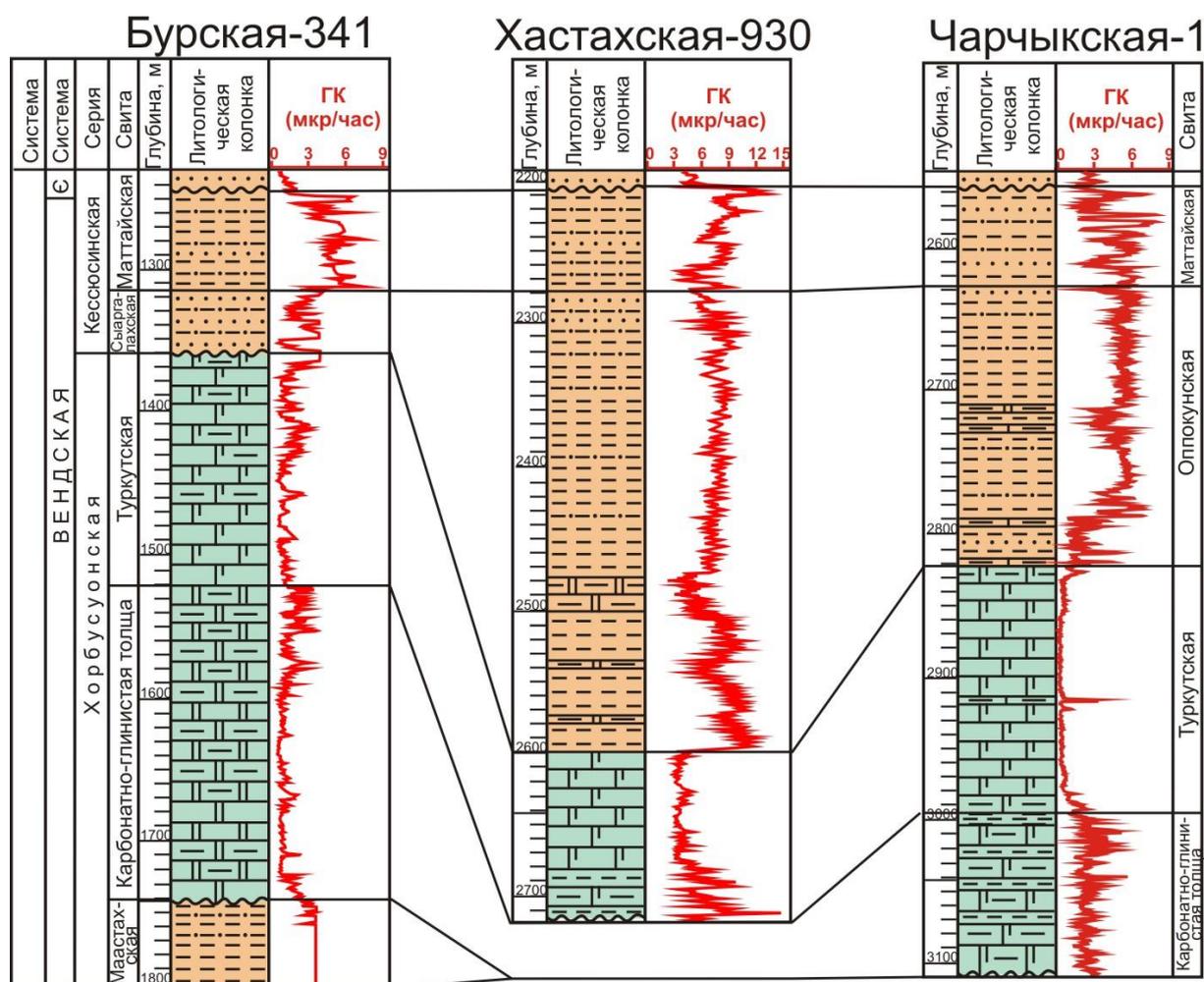


Рис. 4. Литолого-стратиграфическое расчленение и корреляция вендских отложений. Условные обозначения – на рис. 3

Fig. 4. Lithologic-stratigraphic division and correlation of the Vendian deposits. Symbols see in Fig. 3

Завершается серия *маттайской свитой* (мощностью 70–75 м), возраст которой оценивается как венд-нижнекембрийский. Свита сложена переслаиванием зеленовато-серых и бурых алевролитов и аргиллитов, зеленовато-серых мелкозернистых и среднекрупнозернистых плохо сортированных песчаников. Породы часто известковистые, горизонтально и косо-слоистые, участками биотурбированные. Песчаники плохо сортированные, прослоями гравелитистые, нередко с интракластами аргиллитов, по составу литокластово-кварцевые с карбонатно-кварцевым и железисто-карбонатным цементами.

Обстановки седиментации

Анализ состава пород и их структурно-текстурных характеристик позволил реконструировать обстановки осадконакопления, существовавшие на территории исследования в позднерифейское и вендское время.

На протяжении всего позднего рифея седиментация происходила главным образом в относительно мелководных обстановках, но её характер неоднократно менялся, что отразилось в чередовании комплексов с доминированием терригенных или карбонатных пород. Формирование тукуланской свиты, имеющей двучленное строение, на раннем этапе происходило в относительной глубоководной части сублиторали открытого шельфа, где накапливались глинистые отложения. На позднем этапе привнос глинистого материала в бассейн значительно уменьшился, и на открытом низкоэнергетическом шельфе стали отлагаться преимущественно карбонатные осадки. В начале накопления куландинской свиты на фоне усиления терригенного стока и постепенного углубления шельфа произошел переход к карбонатно-глинистой седиментации. Последующее понижение уровня моря привело к восстановлению карбонатного режима осадконакопления. Верхнекуландинская подсвита характеризуется развитием оолитово-интракластических баровых комплексов и строматолитовых покровов литоральной зоны карбонатного шельфа. Во время формирования хаастахской свиты в результате очередной активизации сноса кластического материала стали доминировать терригенные фации распределительных каналов дельт, приливно-отливных баровых протоков и песчаных баров. В таймыльское время режим карбонатной седиментации возобновляется, и на шельфе накапливаются строматолитовые ламиниты и оолито-пизолито-интракластические отложения, соответствующие приливно-отливной обстановке. В конце рифея территория подверглась осушению и эрозии, глубина которой в центральной части Лено-Анабарской НГО (скв. Хаастахская-930) была больше, чем на юге (скв. Бурская-3410).

В раннем венде в результате наступления моря в районе исследования устанавливаются прибрежно-морские обстановки, в которых накапливаются алевро-песчаные отложения маастахской свиты. Отсутствие свиты в центральных разрезах НГО объясняется наличием крупного регионального внутривендского перерыва, после которого сформировалась карбонатно-глинистая толща. Преобладание в её составе

пород глинистых известняков и характерные осадочные текстуры указывают на формирование отложений в обстановках, относительно удаленных от береговой линии и приближенных к области глубокого шельфа, наличие которой предполагается на северо-востоке [7, 17]. В туркутское время наблюдается обмеление карбонатного шельфа, о чем свидетельствует накопление биоморфных и микрито-зернистых доломитов, характерных для литоральной зоны [18]. Дальнейшее понижение уровня моря привело к кратковременному осушению южной окраины бассейна. Подъем уровня моря в раннекексюсинское время привёл к восстановлению относительно глубоководных обстановок дистального шельфа, в пределах которого сформировалась существенно известково-глинистая оппокунская свита. Периодически происходила активизация терригенного сноса, представленного разнозернистым песчаным материалом, содержание которого в южном разрезе существенно выше (сыргалахская свита), поскольку он более приближен к суше. Последующее обмеление бассейна в позднекексюсинское время привело к накоплению терригенной маттайской свиты, состав и текстурно-структурные особенности которой указывают на формирование в условиях прибрежного мелководья при активном влиянии приливно-отливных течений.

Таким образом, территория Лено-Анабарской НГО в позднерифейское и вендское время представляла собой открытый мелководный карбонатный шельф, на котором отложения приливно-отливных равнин, прибрежных отмелей и баров в периоды углубления сменялись карбонатно-глинистыми осадками дистальной части. Эпизодически происходила активизация сноса терригенного обломочного материала, который останавливал карбонатную седиментацию.

Коллекторские свойства

Периодическая смена обстановок осадконакопления обусловила неоднородное строение докембрийского разреза, что отразилось на распределении значений пористости и проницаемости. Анализ литологических особенностей и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) рассматриваемых отложений позволил выделить уровни, которые являются потенциальными коллекторами.

В первую очередь в качестве коллекторов можно рассматривать карбонатные отложения, сформированные в пределах мелководного шельфа, которые слагают значительные по мощности интервалы (120–160 м) в тукуланской и куландинской свитах рифейской части разреза, а также доминируют в туркутской свите венда. Фильтрационно-емкостные характеристики матрицы карбонатных пород, полученные при измерениях в лабораторных условиях, низкие. Пористость изменяется от 2 до 7 %, причем в рифейских отложениях преобладают значения около 2–3 %, а в туркутской свите около 5–7 %. Проницаемость не превышает $0,22 \times 10^{-3}$ мкм², но в туркутской свите в некоторых образцах проницаемость варьирует от 136 до 8000×10^{-3} мкм². В пустотном пространстве матрицы в целом доминируют субкапиллярные поры

радиусом менее 0,2 мкм, в доломитизированных известняках и доломитах размер пустот немного больше: 1–5 мкм, редко до 100 мкм. Однако изучение пород в керне показало, что они разбиты разнонаправленными открытыми трещинами, участками достаточно интенсивно (рис. 5, а). Кроме того, наблюдается широкое развитие микростилолитов, особенно в строматолитовых прослоях. Нередко фиксируются частично или полностью открытые вторичные пустоты, с расширениями до 25 мм, образованные за счет процессов растворения и приуроченные к трещинам и стилолитовым швам (рис. 5, б). Периодически отмечается битумонасыщение пустотного пространства (каверн, стилолитов и трещин), особенно в венде, что косвенно доказывает хорошие резервуарные качества этих пород (рис. 5, в). Вышеизложенное позволяет предположить наличие на этих уровнях каверново-трещинного типа коллектора.

Также к коллекторам с некоторой степенью условности можно отнести песчаные породы, которые занимают достаточно значительный объем в куладинской, хастахской, маастахской и маттайской

свитах. Они редко формируют самостоятельные комплексы мощностью до 5–7 м, а обычно присутствуют в виде прослоев, толщиной от нескольких сантиметров до первых метров. Гранулометрический состав песчаников весьма разнообразен. Среди них отмечаются мелкозернистые, крупнозернистые и смешанные разновидности, нередко с примесью гравийного материала. Сортировка обломков обычно средняя или плохая, редко хорошая. Но коллекторские свойства песчаников контролируются не только гранулометрией, а в значительной степени типом цемента. Наиболее существенное сокращение пустотного пространства зафиксировано в песчаниках с глинисто-карбонатным, железисто-карбонатным и карбонатным типами цемента (рис. 5, г, д). Таким образом, недостаточно хорошая сортировка, пестрый гранулометрический состав и широкое развитие существенно карбонатных цементов определили относительно невысокие ФЕС песчаных горизонтов. Пористость в этих породах варьирует от 1,0 до 10 %, в большинстве образцов составляет 5–9 %, проницаемость обычно не превышает 1×10^{-3} мкм².

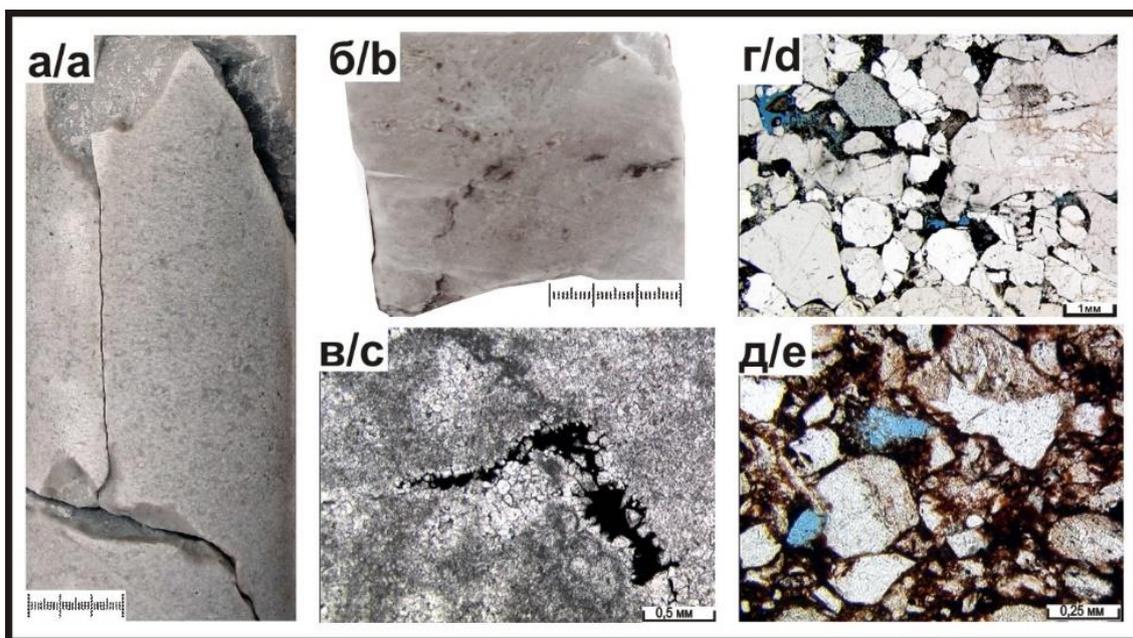


Рис. 5. Пустотное пространство потенциальных коллекторов: а) разнонаправленные трещины в зернистом доломите (таймыльрская свита); б) поры и каверны выщелачивания в доломитизированном известняке (туркутская свита); в) каверна выщелачивания в доломите известковистом микрофитолитовом, выполненная битумом (туркутская свита); г) поры (синие) в кварцевом гравелитистом песчанике глинисто-карбонатным цементом (хастахская свита); д) поры (синие) в литокластово-кварцевом песчанике с карбонатно-железистым цементом (маастахская свита)

Fig. 5. Void space of potential collectors: a) multidirectional cracks in the dolomite grainstone (Taimylyr Formation); b) pores and leaching caverns in dolomitized limestone (Turkut Formation); c) leaching cavity in microphytolithic calcareous dolomite, filled by bitumen (Turkut Formation); d) pores (blue) in quartz gravelitic sandstone with clay-carbonate cement (Khastakh Formation); e) pores (blue) in lithoclast-quartz sandstone with carbonate-ferruginous cement (Maastakh Formation)

Заключение

Проведенные исследования позволили установить следующее:

1. В районе Лено-Анабарской НГО докембрийский разрез представлен чередованием комплексов с

доминированием терригенных или карбонатных пород, накопление которых происходило в широком спектре обстановок: от дельтовых до сублитторальных при существенном преобладании карбонатной мелководно-морской седиментации с

- эпизодами активного поступления силикокластического материала.
2. С точки зрения коллекторских свойств наибольший интерес представляют отложения мелководного шельфа. В первую очередь перспективные уровни связаны с карбонатными породами, которые хоть и имеют невысокие значения пористости и проницаемости матрицы, но осложнены многочисленными трещинами, стилолитами и кавернами, увеличивающими их фильтрационно-емкостные параметры. Наилучшими коллекторскими свойствами обладает туркутская свита венда, породы которой интенсивно насыщены битумом. Песчаные горизонты к перспективным объектам можно отнести условно в виду их относительно небольших мощностей и средних фильтрационно-емкостных характеристик.
 3. Флюидоупорами для докембрийских резервуаров могут служить низкопористые и низкопроницаемые толщи аргиллитов и карбонатно-глинистых пород венд-палеозойского возраста. В качестве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грамберг И.С. Перспективы нефтегазоносности севера Восточной Сибири и Северо-Востока СССР // Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточной части Советской Арктики. – Л.: НИИГА, 1973. – С. 5–15.
2. Андиферов А.С., Бакин В.Е., Варламов И.П. Геология нефти и газа Сибирской платформы. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
3. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Шабалин Н.А. Углеводородный потенциал арктической зоны Сибирской платформы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 1. – С. 4–10.
4. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны / В.А. Конторович, А.Э. Конторович, И.А. Губин, А.М. Зотеев, В.В. Лапковский, Н.В. Малышев, М.В. Соловьев, Г.С. Фрадкин // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1253–1274.
5. Нефтегазогеологическое районирование Сибирской платформы (уточненная версия) / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, В.И. Вальчак, И.А. Губин, А.О. Гордеева, Е.Н. Кузнецова, В.А. Конторович, С.А. Моисеев, М.Ю. Скузатов, А.М. Фомин // XIII Международный научный конгресс Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Новосибирск, 2017. – Т. 1. – С. 57–64.
6. Геохимические критерии нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского регионального прогиба и сопредельных территорий / П.Н. Соболев, Д.С. Лежнин, И.А. Панарин, Е.Н. Гаврилова, А.М. Пименова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 8 (332). – С. 62–74.
7. Углеводородные системы и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Ленского прогиба / С.В. Фролов, Н.И. Коробова, Е.А. Бакай, Н.С. Курдина // Георесурсы. – 2017. – Спецвыпуск. Ч. 2. – С. 173–185. URL: <http://doi.org/10.18599/grs.19.18> (дата обращения: 18.10.2019).
8. Сейсмогеологические модели и нефтегазоносность осадочных комплексов в арктических регионах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская нефтегазоносные области) / В.А. Конторович, А.Ю. Калинин, Л.М. Калинина, М.В. Соловьев // Геология нефти и газа. – 2019. – № 5. – С. 15–26.
9. Каширцев В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. – Якутск: Изд-во СО РАН, 2003. – 160 с.
10. Kashirtsev V.A., Hein F.J. Overview of natural bitumen fields of the Siberian platform, Olenek uplift, Eastern Siberia, Russia // Heavy-oil and Oil-sand Petroleum Systems in Alberta and Beyond. – 2013. – С. 509–529.
11. Граусман В.В., Рудаевская В.А., Васильева Н.И. Стратиграфия верхнего докембрия и нижнего кембрия Оленекского поднятия // Отечественная геология. – 1996. – № 8. – С. 30–35.
12. Шишкин Б.Б., Исаев А.В. Особенности строения докембрийских и кембрийских отложений северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 12. – С. 1795–1807.
13. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н.В. Мельников, Б.Б. Якшин, Б.Б. Шишкин, А.О. Ефимов, Г.А. Карлова, Л.И. Килина, Л.Н. Константинова, Б.Б. Кочнев, Б.Г. Краевский, П.Н. Мельников, К.Е. Наговицин, А.А. Постников, Л.В. Рябкова, А.А. Терлеев, Е.М. Хабаров. – Новосибирск: Гео, 2005. – 428 с.
14. Старосельцев В.С., Шишкин Б.Б., Берилко Г.А. Актуальные проблемы геологии кембрийских и протерозойских отложений северо-востока Анабарской антеклизы в связи с нефтегазоносностью // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 1 (25). – С. 44–56.
15. Revised Neoproterozoic and Terreneuvian stratigraphy of the Lena-Anabar Basin and north-western slope of the Olenek Uplift, Siberian Platform / K.E. Nagovitsyn, V.I. Rogov, V.V. Marusin, G.A. Karlova, A.V. Kolesnikov, N.V. Bykova, D.V. Grazhdankin // Precambrian Research. – 2015. – V. 270. – P. 226–245.
16. Carbonaceous rocks of the Neoproterozoic (Vendian) Khatyspyt Formation as a possible source of oils in the northeastern Siberian Platform / T. Parfenova, V. Kashirtsev, L. Borisova, E. Ivanova, B. Kochnev, K. Nagovitsyn, V. Melenevsky // The 25th International meeting on organic geochemistry. Book of abstracts. – Interlaken, Switzerland, 18–23 September 2011. – P. 435.
17. Meso-Neoproterozoic petroleum systems of the Eastern Siberian sedimentary basins / S.V. Frolov, G.G. Akhmanov, E.A. Bakay, N.V. Lubnina N.I. Korobova, E.E. Karnyushina, E.V. Kozlova // Precambrian Research. – 2015. – V. 259. – P. 95–113.
18. Davis R.A., Dalrymple R.W. Principles of Tidal Sedimentology. – London: Springer Dordrecht Heidelberg London, 2012. – 609 p.
19. Chemostratigraphic constraints on Vendian–Cambrian basin dynamics, Northeast Siberian Craton / S.M. Pelechaty, J.P. Grotzinger, V.A. Kashirtsev, V.P. Zhernovskiy // The Journal of Geology. – 1996. – V. 104. – P. 543–563.
20. Organic geochemistry of the Vendian Khatyspyt Formation (northeast of the Siberian Platform) / A. Kontorovich, T. Parfenova, V. Kashirtsev, N. Aksenova, E. Zubova, E. Ivanova, N. Yudina // 24th International Meeting on Organic Geochemistry. – Bremen, Germany, 6–11 September, 2009. – P. 174.
21. Redox-dependent distribution of early macro-organisms: evidence from the terminal Ediacaran Khatyspyt Formation in Arctic Siberia / H. Cui, D.V. Grazhdankin, S. Xiao, S. Peek, V.I. Rogov, N.V. Bykova, N.E. Sievers, X.-M. Liu, A.J. Kaufman //

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2016. – V. 461. – P. 122–139. Meeting on Organic Geochemistry. – Interlaken, Switzerland, 18–23 September 2011. – P. 249.
22. Kim N., Kashirtsev V., Dzuba O. Organic geochemistry of naphthides of the Anabar-Khatanga saddle // The 25th International

Поступила 04.09.2020 г.

Информация об авторах

Вараксина И.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Шаваров Р.Д., геолог департамента проектирования разработки месторождений, ООО «Иркутская нефтяная компания».

UDC 552 (571.5)

LITHOLOGY AND RESERVOIR PROPERTIES OF PRECAMBRIAN DEPOSITS OF THE LENA-ANABAR OIL-AND-GAS REGION

Irina V. Varaksina¹,
varaksinaI@ipgg.sbras.ru

Roman D. Shavarov²,
shavarov_rd@irkutskoil.ru

¹ Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences, 3, Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

² Irkutsk Oil Company, 4, Bolshoy Liteiny avenue, Irkutsk, 664007, Russia.

The relevance. Nowadays, one of the priority directions in expanding the hydrocarbon base of Russia has become the research and development of its northern regions. The Lena-Anabar oil-and-gas region is located in the North part of the Siberian platform and is characterized by a very irregular geological and geophysical exploration. Precambrian deposits are the most poorly studied, despite their quite high reservoir potential, as well as direct and indirect signs of oil and gas potential. For more effective further geological exploration work in this region, a detailed study of previously drilled well sections is necessary, with the identification of lithological features of reservoir rocks, conditions for their formation and distribution.

The object: Precambrian deposits discovered by deep drilling on the territory of the Lena-Anabar oil-and-gas region.

The aim of the research is to identify perspective hydrocarbon reservoirs based on the analysis of the composition, structure, sedimentary environments and reservoir properties of Precambrian sediments of the Lena-Anabar oil-and-gas region.

Methods: creating sections of Precambrian deposits based on detailed macro- and microscopic analysis of core material and well logs data; correlation of sections in view of lithological, paleontological and geophysical data; genetic analysis of the main lithological types of rocks and clarification of their sedimentation conditions; estimation of the influence of sedimentation and post-sedimentation factors on formation of reservoir properties; identification of levels of potential reservoirs

Results. It was established that the Precambrian section is represented by the alternation of packs of carbonate and terrigenous rocks and its accumulation took place in a large range of environments: from delta to sublittoral, with a significant prevalence of shallow-water sedimentation. It was discovered that there are potential reservoir rocks in Precambrian sediments, and the most perspective levels are related to the Vendian part of the section.

Key words:

Lena-Anabar oil-and-gas region, lithology, reservoirs, Upper Riphean, Vendian.

The research was financially supported by the FSR project no. 0331-2019-0021.

REFERENCES

- Gramberg I.S. Perspektivy neftegazonosnosti severa Vostochnoy Sibiri i Severo-Vostoka SSSR [Petroleum prospects of the north of Eastern Siberia and the North-East of the USSR]. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnoy chasti Sovetskoy Arktiki* [Geological structure and oil and gas prospects of the eastern part of the Soviet Arctic]. Leningrad, NIIGA Publ., 1973. pp. 5–15.
- Antsiferov A.S., Bakin V.E., Varlamov I.P. *Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platform* [Geology of oil and gas of the Siberian platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 552 p
- Dmitrievskiy A.N., Eremin N.A., Shabalin N.A. Uglevodorodny potential arkticheskoy zony Sibirskoy platform [Hydrocarbon potential of the Arctic zone of the Siberian platform]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2018, no. 1, pp. 4–10.
- Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Gubin I.A., Zoteev A.M., Lapkovskiy V.V., Malyshev N.A., Soloviev M.V., Fradkin G.S. The Neoproterozoic-Phanerozoic section of the Anabar-Lena province: structural framework, geological model, and petroleum potential. *Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 1253–1274. In Rus.
- Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Valchak V.I., Gubin I.A., Gordeeva A.O., Kuznetsova E.N., Kontorovich V.A., Moiseev S.A., Skuzovatov M.Yu., Fomin A.M. Neftegazogeologicheskoe rayonirovanie Sibirskoy platformy (utochnennaya versiya) [Petroleum-geological regionalization of the Siberian platform]. *XIII Mezhdunarodny nauchny kongress Interekspo GEO-Sibir* [XIII International Scientific Congress Interexpo GEO-Siberia]. Novosibirsk, 2017. Vol. 1, pp. 57–64.
- Sobolev P.N., Lezhnin D.S., Panarin I.A., Gavrilova E.N., Pimenova A.M. Geochemical criteria of oil and gas potential of the Riphean-Paleozoic sediments of the Lena-Anabar regional trough and adjacent territories. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2019, no. 8 (332), pp. 62–74. In Rus.
- Frolov S.V., Korobova N.I., Bakay E.A., Kurdina N.S. Hydrocarbon systems and oil and gas potential prospects of the Anabar-Lena trough. *Georesources*, 2017. Special issue. Part 2, pp. 173–185. In Rus. Available at: <http://doi.org/10.18599/grs.19.18> (accessed 18 October 2019).
- Kontorovich V.A., Kalinin A.Yu., Kalinina L.M., Soloviev M.V. Seismogeological models and petroleum potential of sedimentary sequences in the Arctic regions of Lena-Tunguska petroleum province (Anabar-Khatanga, Lena-Anabar petroleum areas). *Geology of oil and gas*, 2019, no. 5, pp. 15–26. In Rus.
- Kashirtsev V.A. *Organicheskaya geokhimiya naftidov vostoka Sibirskoy platformy* [Organic geochemistry of naphthides of the east of the Siberian platform]. Yakutsk, SO RAN Publ., 2003. 160 p.
- Kashirtsev V.A., Hein F.J. Overview of natural bitumen fields of the Siberian platform, Olenek uplift, Eastern Siberia, Russia. *Heavy-oil and Oil-sand Petroleum Systems in Alberta and Beyond*, 2013, pp. 509–529.
- Grausman V.V., Rudavskaya V.A., Vasileva N.I. Stratigrafiya verkhnego dokembriya i nizhnego kembriya Olenekskogo

- podnyatiya [Stratigraphy of the Upper Precambrian and Lower Cambrian of the Olenek Uplift]. *Otechestvennaya geologiya*, 1996, no. 8, pp. 30–35.
12. Shishkin B.B., Isaev A.V. Structural features of Precambrian and Cambrian deposits of the North-East of the Siberian Platform. *Geology and geophysics*, 1999, vol. 40, no. 12, pp. 1795–1807. In Rus.
 13. Melnikov N.V., Yakshin B.B., Shishkin B.B., Efimov A.O., Karlova G.A., Kilina L.I., Konstantinova L.N., Kochnev B.B., Kraevskij B.G., Melnikov P.N., Nagovicin K.E., Postnikov A.A., Ryabkova L.V., Terleev A.A., Habarov E.M. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of the oil and gas basins of Siberia. Riphean and Vendian of the Siberian platform and its folded frame]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 428 p.
 14. Staroseltsev V.S., Shishkin B.B., Berilko G.A. Topical issues of geology of the Cambrian and Proterozoic deposits in the northeast of the Anabar anticline in relation to petroleum content. *Geology and mineral resources of Siberia*, 2016, no. 1(25), pp. 44–56. In Rus.
 15. Nagovitsin K.E., Rogov V.I., Marusin V.V., Karlova G.A., Kolesnikov A.V., Bykova N.V., Grazhdankin D.V. Revised Neoproterozoic and Terreneuvian stratigraphy of the Lena-Anabar Basin and north-western slope of the Olenek Uplift, Siberian Platform. *Precambrian Research*, 2015, vol. 270, pp. 226–245.
 16. Parfenova T., Kashirtsev V., Borisova L., Ivanova E., Kochnev B., Nagovitsyn K., Melenevsky V. Carbonaceous rocks of the Neoproterozoic (Vendian) Khatyspyt Formation as a possible source of oils in the northeastern Siberian Platform. *The 25th International meeting on organic geochemistry*. Book of abstracts. Interlaken, Switzerland, 18–23 September 2011. pp. 435.
 17. Frolov S.V., Akhmanov G.G., Bakay E.A., Lubnina N.V., Korobova N.I., Karnyushina E.E., Kozlova E.V. Meso-Neoproterozoic petroleum systems of the Eastern Siberian sedimentary basins. *Precambrian Research*, 2015, vol. 259, pp. 95–113.
 18. Davis R.A., Dalrymple R.W. *Principles of Tidal Sedimentology*. London, Springer Dordrecht Heidelberg London, 2012. 609 p.
 19. Pelechaty S.M., Grotzinger J.P., Kashirtsev V.A., Zhernovsky V.P. Chemostratigraphic constraints on Vendian-Cambrian basin dynamics, Northeast Siberian Craton. *The Journal of Geology*, 1996, vol. 104, pp. 543–563.
 20. Kontorovich A., Parfenova T., Kashirtsev V., Aksenova N., Zubova E., Ivanova E., Yudina N. Organic geochemistry of the Vendian Khatyspyt Formation (northeast of the Siberian Platform). *The 24th International Meeting on Organic Geochemistry*. Bremen, Germany, 6–11 September 2009. pp. 174.
 21. Cui H., Grazhdankin D.V., Xiao S., Peek S., Rogov V.I., Bykova N.V., Sievers N.E., Liu X.-M., Kaufman A.J. Redox-dependent distribution of early macro-organisms: evidence from the terminal Ediacaran Khatyspyt Formation in Arctic Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, vol. 461, pp. 122–139.
 22. Kim N., Kashirtsev V., Dzuba O. Organic geochemistry of naphthides of the Anabar-Khatanga saddle. *The 25th International Meeting on Organic Geochemistry*. Interlaken, Switzerland, 18–23 September 2011. pp. 249.

Received: 4 September 2020.

Information about the authors

Irina V. Varaksina, Cand. Sc., senior researcher, Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences.

Roman D. Shavarov, geologist, Irkutsk Oil Company.