УДК 552+553.98

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ В ПАЛЕОЗОЙСКОМ РАЗРЕЗЕ ЛЕДЯНСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРО-ТУНГУССКАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНАЯ ОБЛАСТЬ)

Вараксина Ирина Валерьевна,
канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаборатории седиментологии
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090,
г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3. E-mail: VaraksinaIV@ipgg.sbras.ru

Тумашов Игорь Викторович,
канд. геол.-минерал. наук, мл. науч. сотр. лаборатории седиментологии
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090,
г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3. E-mail: TumashovIV@gmail.com

Актуальность исследований *определяется тем, что в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений расширения минерально-сырьевой базы России является поиск залежей нефти и газа в арктических районах. Поскольку изученность бурением этих территорий крайне низкая, для более успешного проведения поисково-разведочных работ необходимо более детальное исследование вскрытых ранее разрезов.*

Цель исследований: *определить степень влияния седиментационных и постседиментационных факторов на формирование пустотного пространства различных типов пород и установить уровни потенциальных коллекторов в палеозойском разрезе Ледянского поднятия.*

Объект исследований: *отложения палеозоя, вскрытые скважинами Ледянского района, расположенного на северной окраине Северо-Тунгусской нефтегазоносной области.*

Методы исследований: *построение разрезов палеозойских отложений на основе детального описания керна, результатов ГИС и палеонтологических исследований; петрографическое изучение основных типов пород, участвующих в строении разреза; генетический анализ различных типов пород и выяснение условий их седиментации; изучение пустотного пространства пород в керне и шлифах; установление взаимосвязи между литологическими особенностями палеозойских пород и их коллекторскими свойствами.*

Результаты исследований. *Выяснены состав, строение и обстановки осадконакопления палеозойских отложений, вскрытых в пределах Ледянского куполовидного поднятия на севере Тунгусской синеклизы; рассмотрено влияние седиментационных и постседиментационных факторов на формирование коллекторов; установлено, что наиболее высокие показатели пористости и проницаемости наблюдаются в рифогенных карбонатных породах силура, где наиболее интенсивно прошли постседиментационные процессы выщелачивания, а также в песчаных горизонтах ордовика и карбона, обладающих хорошей первичной пористостью.*

Ключевые слова:
Литология, Северо-Тунгусская нефтегазоносная область, Ледянское поднятие, палеозойские отложения.

Введение

Освоение арктических районов на сегодняшний день является одной из приоритетных задач в нефтегазовой геологии. К сожалению, геолого-геофизическая изученность этих территорий крайне низкая. В связи с этим становится все более актуальным детальное литологическое изучение основных опорных разрезов, пробуренных здесь ранее. Проведенное в 80–90-х гг. бурение скважин в пределах Ледянской площади имело большое значение для уточнения представлений о строении и нефтегазоносности всей Северо-Тунгусской нефтегазоносной области. В скважинах были получены прямые и косвенные признаки продуктивности палеозойских отложений [1–6]. При испытании в скв. Ледянская № 358 в известняках рифея, а также в кавернозных доломитах нижнего кембрия и силура были установлены водоносные горизонты. В скв. Ледянская № 2 и 3 в отложениях среднего ордовика, нижнего и верхнего силура по керну выявлена темно-коричневая нефть, черная мальта и многочисленные примазки битума. Эти данные в совокупности с характерными для всего района большим объемом осадочных отложений, сочетанием глубокопогруженных крупных отрицательных структур платформенного чехла и смежных куполовидных поднятий, подобно Ледянскому, а также наличием многочисленных полей природных битумов позволяют рассматривать исследуемый район в качестве одного из наиболее перспективных для расширения минерально-сырьевой базы России.

Общая геологическая характеристика района исследования

Пробуренные скважины Ледянская № 2, 3 (скв. Л-2, скв. Л-3) и 358 (скв. Л-358) расположены на одноименном куполовидном поднятии в пределах Путоранского выступа (рис. 1) [7]. Здесь осадочный чехол, по геофизическим данным, имеет мощность около 8 км и сложен образованиями широкого стратиграфического диапазона. Структурно-колонковые скважины Ледянская № 2 и 3 вскрыли отложения от четвертичной системы до ордовика, а самая северная параметрическая скважина Ледянская № 358 дошла до рифея [2, 3].

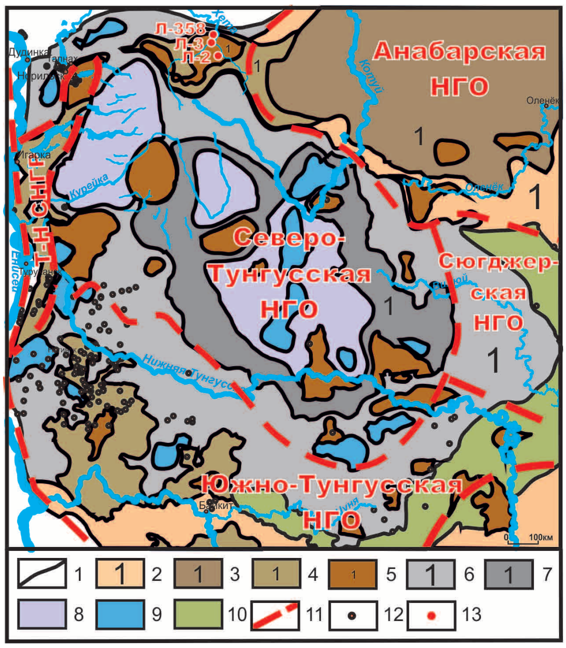

Рис. 1. *Фрагмент тектонической карты венд-нижнепалеозойского структурного яруса Сибирской платформы [7] с дополнениями: 1 – границы тектонических эле-ментов; 2–5 – положительные структуры: 2 – надпорядковые (1 – Анабарская антеклиза), 3 – 0 порядка (1 – Анабарский мегасвод), 4 – I порядка (1 – Путоранский выступ), 5 – II порядка (1 – Ледянское куполовидное поднятие); 6–9 – отрицательные структуры: 6 – надпорядковые (1 – Курейская синеклиза), 7 – 0 порядка (1 – Туринская мегавпадина), 8 – I порядка, 9 – II порядка; 10 – Мархино-Чуньская мегамоноклиналь; 11 – границы нефтегазоносных областей; 12 – скважины, пробуренные на обозначенной территории; 13 – скважины, пробуренные на Ледянском поднятии; НГО – нефтегазоносные области, Т-Н СНГР – Турухано-Норильский самостоятельный нефтегазоносный район*

Fig. 1. *Fragment of a tectonic map of the Vendian–Lower Paleozoic structural stage of the Siberian platform [7] with additions: 1 – the boundaries of tectonic elements; 2–5 – positive structures: 2 – superordinate (1 – Anabar anteclise), 3 – of the 0 order (1 – Anabar mega arch), 4 – of the I order (1 – Putorana ledge), 5 – of the II order (1 – Ledyansk uplift); 6–9 – negative structures: 6 – superordinate (1 – Kureika syneclise), 7 – of the 0 order (1 – Turin megasyneclise), 8 – of the I order, 9 – of the II order; 10 – Marhino-Chunya megamonoklinal; 11 – the boundaries of oil and gas fields; 12 – wells drilled in this territory; 13 – wells drilled on the Ledyansk uplift; НГО – oil-and-gas area, Т-Н СНГР – Turukhano-Norilsk oil and gas bearing region*

В работе представлены результаты проведенного авторами исследования отложений среднего и верхнего палеозоя скважин Ледянская № 2 и 3, а также приведена информация по скв. Ледянская № 358. Литолого-стратиграфическое расчленение рассматриваемых разрезов проводилось сотрудниками ИНГГ СО РАН И.В. Вараксиной, Ю.И. Тесаковым, Н.Г. Изох, О.Т. Обут и др. (рис. 2).

Отложения ордовика, согласно схеме стратиграфического районирования, относятся к Маймечинской структурно-фациальной зоне или Ледянскому стратиграфическому району [8, 9]. Здесь выделяются (снизу-вверх) следующие свиты: бысыюряхская и устькуранахская (нижняя часть) нижнего ордовика, устькуранахская (верхняя часть), кунтыкахинская и мойеронская свиты среднего ордовика [9]. Существует и другое мнение по поводу разбивок ордовикских отложений. Ю.И. Тесаковым была выделена мегунская свита по материалам Т.А. Дивиной в 1995 г., которая первоначально описала её как кунтыкахинскую свиту, простирающуюся из Маймечинского стратиграфического района [1, 8].

Силурийские отложения, вскрытые скважинами, относятся к Ледянскому фациальному району и залегают со стратиграфическим перерывом [10, 11]. Здесь выделено пять свит: оранская, хукэлченская, мунильская, неракачинская и кираская [10]. Стратотипом для всех подразделений является скв. Ледянская № 3. Однако существует другая точка зрения на расчленение данного разреза. Согласно схеме, разработанной сотрудниками СНИИГГиМС, силурийские отложения относятся к Ледянской ЛФЗ Мойеронского района и охарактеризованы: мойероканской, хаастырской, агидыйской, хакомской, янгадинской и холюханской свитами. Стратотипом для всех стратиграфических подразделений является разрез Ледянской скв. 358 [5].

Отложения девона в Ледянском структурно-фациальном районе согласно перекрывают породы силура [12]. В основании фиксируется глинисто-карбонатная толща нижнедевонского возраста, которая подразделяется на три свиты: икоканскую, намаканскую, кольдинскую [13]. Средний девон с размывом залегает на кольдинской свите и представлен сидинской и юктинской свитами. К верхнему девону относятся накохозкая и каларгонская свиты.

Каменноугольные отложения в исследуемом районе повсеместно залегают на девоне с размывом. На Ледянской площади они представлены ханарской свитой среднего-верхнего карбона [12]. Верхи карбона размыты, причем глубина размыва в Ледянских скважинах сильно варьирует.

Пермские отложения в кровле также размыты, а в южной части поднятия полностью отсутствуют.

Строение и состав палеозойского разреза

Ордовик, вскрытый в основании разреза изученных скважин, представлен двумя свитами среднего отдела. *Кунтыкахинская* (*kk*) свита в нижней части сложена переслаиванием пестроцветных, в разной степени карбонатизированных и сульфатизированных аргиллитов, алевролитов и полевошпатово-литокластито-кварцевых песчаников, а в верхней части – красноцветными сильно ангидритизированными известково-доломитистыми аргиллитами. *Мойеронская* (*mr*) свита также

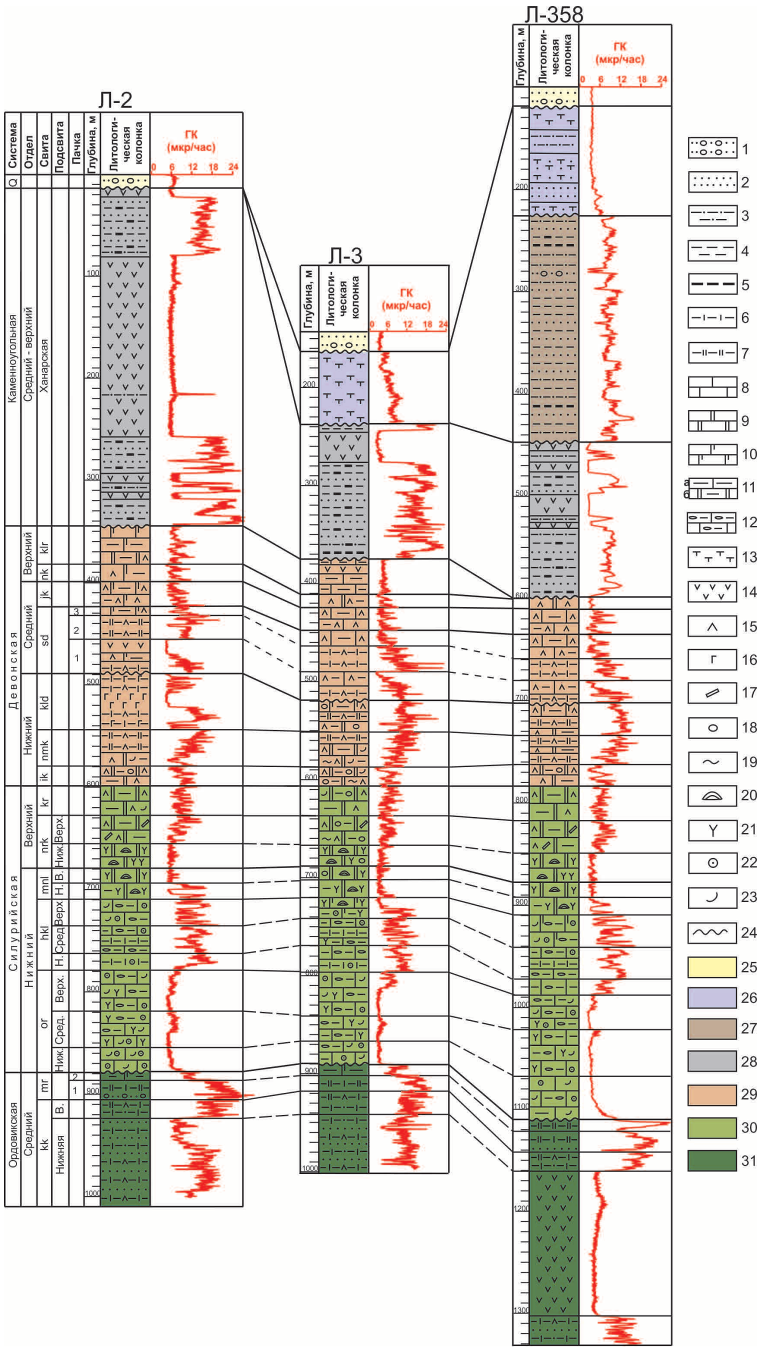

Рис. 2. *Схема корреляции палеозойских отложений Ледянского поднятия: 1 – гравелиты, конгломераты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – аргиллиты; 5 – аргиллиты углистые, прослои углей; 6 – аргиллиты известковистые (известковые); 7 – аргиллиты доломитистые (доломитовые); 8 – известняки; 9 – доломиты; 10 – известняки доломитовые (доломиты известковые); 11а – известняки глинистые, 11б – доломиты глинистые; 12 – глинисто-известковые породы с нодулярной структурой; 13 – туфы, туффиты; 14 – долериты; 15 – ангидрит, гипс; 16 – галит; 17 – интракласты; 18 – оолиты; 19 – строматолиты; 20 – строматопораты; 21 – кораллы; 22 – криноидеи; 23 – раковинная фауна; 25 – четвертичная система; 26 – триас; 27 – пермь; 28 – карбон; 29 – девон; 30 – силур; 31 – ордовик. Свиты: kk – кунтыкахинская, mr – мойеронская, or – оранская, hkl – хукэлченская, mnl – мунильская, nrk – неракачинская, kr – кираская, ik – икоканская, kld – кольдинская, sd – сидинская, jk – юктинская, nk – накахозкая, klr – каларгонская, hnr – ханарская*

Fig. 2. *Paleozoic correlation scheme of the Ledyansk uplift: 1 – gravelstone, conglomerates; 2 – sandstone; 3 – siltstone; 4 – argillites; 5 – carbonaceous argillites, interbeds of coal; 6 – argillites calcareous; 7 – dolomitic argillites; 8 – limestones; 9 – dolomite; 10 – dolomitic limestone; 11a – clayey limestones, 11b – dolomite clay; 12 – clay-limestone with nodular structure; 13 – tuffs, tuffites; 14 – dolerites; 15 – anhydrite, gypsum; 16 – halite; 17 – intraclast; 18 – oolites; 19 – stromatolites; 20 – stromatoporoid; 21 – corals; 22 – crinoidea; 23 – sinks fauna; 25 – Quaternary system; 26 – Triassic; 27 – Permian; 28 – Carbon; 29 – Devonian; 30 – Silurian; 31 – Ordovician. Formation: kk – kuntykahinskaya, mr – moyeronskaya, or – oranskaya, hkl – hukelchenskaya, mnl – munilskaya, nrk – nerakachinskaya, kr – kiraskaya, ik – ikokanskaya, kld – koldinskaya, sd – sidinskaya, jk – yuktinskaya, nk – nakakhozkaya, klr – kalargonskaya, hnr – khanarskaya*

имеет хорошо выраженное двучленное строение. Нижняя пачка сложена аргиллитами зеленовато-серыми, доломито-известковистыми, тонкослоистыми, с частыми ходами илоедов. В верхней глинисто-доломито-известковой пачке наблюдается постепенное возрастание вверх по разрезу роли карбонатной составляющей.

Силурийские отложения залегают на ордовике со стратиграфическим перерывом. Нижний силур подразделяется на три свиты. Нижняя, *оранская* (*or*) свита, в целом имеет достаточно однородный глинисто-известковый состав, но за счет некоторых вариаций в содержании глинистого материала и фаунистических остатков подразделяется на три подсвиты [10]. Породы свиты характеризуются будинажеподобной или нодулярной текстурой. Возникновение такой текстуры возможно при дифференцированном уплотнении первоначально неоднородно распределенного глинистого и карбонатного вещества [14, 15]. Известняки в нодулях содержат примесь фаунистического детрита. В нижней подсвите он представлен мелкими остатками раковин остракод, брахиопод, цефалопод и криноидей, а в средней наблюдается укрупнение размерности фаунистических остатков, среди которых начинают преобладать обломки кораллов (табулят). В верхней подсвите фиксируются массивные прослои (до 10 см), обогащенные крупными остатками строматопорат и кораллов.

Вышележащая *хукэлченская* (*hkl*) свита отличается более глинистым составом и также подразделяется на три подсвиты. В нижней преобладают глинистые известняки с прослоями (первые см) мелко-органогенно-обломочных разновидностей. В средней наблюдается довольно грубое (первые метры) переслаивание известняков глинистых и аргиллитов известковистых. Часто отмечаются интервалы с нодулярными текстурами. В карбонатных стяжениях содержатся обломки раковин, иглокожих и редко кораллов. Верхняя подсвита сложена органогенно-обломочными известняками. Среди фаунистических остатков преобладают обломки табулят, а также присутствуют биокласты криноидей и брахиопод. В скважине Ледянская № 3 в кровле фиксируются известняки коричневато-серые кораллово-строматопоратовые, слагающие биогермную постройку мощностью около 11 м. Наблюдается доломитизация с усилением вверх по разрезу, слабое окремнение фаунистических остатков, а также интенсивное развитие пор, каверн и микростилолитов, выполненных битуминозным веществом.

Мунильская (*mnl*) свита представлена массивными кораллово-строматопоровыми доломитами, которые в скважине Ледянская № 3 слагают рифогенную постройку мощностью около 30 м. В южном (скв. Л-2) и северном (скв. Л-358) разрезах эти породы фиксируются в верхней подсвите, а нижняя сложена переслаиванием органогенных, органогенно-обломочных и глинистых доломитов. В рифогенных породах отмечаются многочисленные поры и каверны выщелачивания, а также стилолиты, выполненные битуминозным веществом и приуроченные к поверхностям напластования скелетных образований.

Верхний силур подразделяется на две свиты. В *неракачинской* (*nrk*) преобладают доломиты. Нижняя подсвита представлена пористо-кавернозными кораллово-строматопоратовыми породами. В верхней доминируют глинистые тонкослоистые доломиты с прослоями строматолитовых и оолито-интракласто-пизолитовых разновидностей. Также здесь отмечаются включения и слойки ангидрита, а в кровле фиксируется более интенсивная ангидритизация. *Кираская* (*kr*) свита имеет доломито-ангидрито-глинистый состав. В ней наблюдается чередование циклов мощностью 0,5–1,0 м, нижние части которых представлены доломитами тонкогоризонтальнослоистыми, с ходами илоедов. Вверх по разрезу породы становятся более глинистыми и ангидритистыми, в кровле залегают доломитово-ангидритовые аргиллиты.

В основании девона отмечается глинисто-карбонатная толща, которая подразделяется на три свиты. *Икоканская* (*ik*) свита сложена доломитами строматолитовыми, пизолитовыми и глинистыми. Отмечаются редкие прослои глинисто-ангидритовых пород. В *намаканской* (*nmk*) свите наблюдается переслаивание доломитов и аргиллитов в разной степени ангидритизированных. В скважине Ледянская № 3 в основании отмечаются прослои (до 0,2 м) строматолитовых доломитов. Выше фиксируются циклы метрового масштаба, в нижних частях которых залегают доломиты глинисто-ангидритистые с мелкораковинным детритом, переходящие вверх по разрезу в более глинистые и заканчивающиеся тонкослоистыми глинистыми ангидритами. *Кольдинская* (*kld*) свита нижнего отдела девона в кровле размыта [12, 13]. Она представлена преимущественно красноцветными карбонатно-ангидрит-глинистыми породами. В скважине Ледянская № 3 в верхней части преобладают доломиты оолито-пизолитовые с многочисленными порами и кавернами, которые выполнены галитом и ангидритом. В южном направлении (скв. Л-2) наблюдается увеличение мощности свиты и содержания галита (прослои от нескольких см до 3 и 11 м). В северном разрезе (скв. Л-358) галит не зафиксирован.

Средний отдел девона представлен двумя свитами. *Сидинская* (*sd*) свита характеризуется неоднородным составом в разрезе и по площади. В зависимости от вариаций в содержании карбонатного, сульфатного и глинистого материала она подразделяется на три пачки. Нижняя карбонатная пачка сложена известняками доломитистыми, ангидритистыми и глинистыми, с прослоями фаунистического детрита. В скважине Ледянская № 2 в кровле пачки фиксируется трапповая интрузия. Средняя представлена красноцветными тонкослоистыми глинисто-известково-ангидритовыми породами. В верхней пачке наблюдается чередование слоев с преобладанием карбонатного или сульфатного материала. В скважине Ледянская № 2 карбонатные породы свиты отличаются смешанным известково-доломитовым составом. *Юктинская* (*jk*) свита представлена известняками глинистыми и ангидритистыми. Известняки в разной степени доломитизированы, наиболее интенсивно в скважине Ледянская № 2. Вверх по разрезу возрастает роль сульфатно-карбонатных пород. *Накахозкая* (*nk*) свита, согласно залегающая на среднем девоне, сложена известняками доломитистыми, прослоями глинистыми, горизонтально и волнистослоистыми за счет примазок темно-серых аргиллитов, с прослоями и пятнистыми включениями ангидритов, часто пористых и кавернозных. Вверх по разрезу содержание ангидрита уменьшается. *В каларгонской* (*klr*) свите доминируют карбонатные породы, среди которых распространены в разрезе скв. Ледянская № 3 известняки, а в скв. Ледянская № 2 известковистые доломиты, часто глинистые и микритовые, обогащенные очень мелким раковинным детритом. В кровле верхнего девона отмечается крупный стратиграфический перерыв [12, 13].

Каменноугольные отложения представлены одной *ханарской* (*hnr*) свитой среднего-верхнего отдела, которая сложена переслаиванием углистых аргиллитов, углисто-глинистых алевролитов и песчаников, с внедрением многочисленных трапповых интрузий. Песчаники (преимущественно мелкозернистые) и алевролиты горизонтально и косослоистые, литокластито-полевошпатово-кварцевые. Среди литокластов преобладают обломки кремнистых пород, кварцитов, редко эффузивов и алеврито-песчаных пород. Часто встречается примесь углефицированного растительного детрита.

Пермские отложения на севере (скв. Л-358) представлены толщей ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов, туфопесчаников и туффитов. В южном направлении начинают преобладать туфогенные породы и мощность пермской толщи уменьшается вплоть до полного исчезновения в разрезе скв. Ледянская № 2.

Обстановки осадконакопления

Анализ условий образования различных типов пород и закономерностей их распределения в разрезе показал, что осадконакопление на территории Ледянского поднятия в палеозое происходило в широком спектре обстановок.

В среднеордовикский период накапливались красноцветные терригенно-карбонатные отложения прибрежной зоны, которые по мере наступления моря сменились глинисто-карбонатными осадками открытого шельфа. Верхнеордовикские отложения были размыты вследствие регрессии моря в предсилурское время.

Силурийские отложения, присутствующие в разрезе в полном объеме, накапливались в пределах крупного эпиконтинентального бассейна с трангрессивно-регрессивной историей развития. В раннем силуре на Сибирской платформе развилась широкая трангрессия, а во второй половине силура началась регрессия. Этот тренд хорошо прослеживается в рассматриваемых разрезах. В раннем силуре седиментация происходила преимущественно в пределах верхней сублиторали в условиях умеренной или низкой гидродинамики, где шло накопление глинисто-известковых осадков с обильной нормально-морской бентосной фауной [16]. Затем на фоне постепенного обмеления бассейна наблюдается резкое сокращение практически всех бентосных сообществ, кроме строматопорат и табулят. На позднем этапе началось формирование рифогенной постройки, которая существовала и в начале верхнего силура. Рифогенные образования перекрываются зарифовыми фациями верхнего силура. Присутствие в них пластовых строматолитов свидетельствует о достаточно мелководной обстановке с умеренным гидродинамическим режимом, который периодически нарушался штормовыми волнениями и образованием прослоев оолито-интракласто-пизолитовых доломитов [17]. Появление ангидрита в кровле силурийских отложений связано, по-видимому, с постепенной изоляцией бассейна.

Девонские карбонатно-ангидрито-глинистые отложения формировались в основном в условиях мелководного шельфа с ограниченной циркуляцией вод, мелководной осолоняющейся лагуны или залива. Остатки ископаемых организмов представлены здесь угнетенным комплексом эвригалийных форм, локализующихся в редких тонких прослойках. Кроме того, в карбонатных прослоях иногда фиксируется примесь детрита брахиопод и криноидей, забрасываемого в лагунно-заливный бассейн во время штормов. Примечательно, что в разрезе среднего девона в скважине Ледянская № 2 фиксируются как многочисленные мелкие слойки, так и крупные пласты (до 11 м) галита, а в Ледянской № 3 на этом уровне отмечаются только редкие мелкие включения соли. Такое очаговое распределение галита некоторые исследователи связывают с активными зонами разломов [18]. Однако эта версия не объясняет отсутствие признаков галитизации в нижележащих породах и в девонских отложениях некоторых скважин, приуроченных непосредственно к разломным зонам. Вероятнее всего, отложение галита происходило за счет естественного мелководно-лагунного соленакопления [19, 20]. В верхнем девоне наблюдается постепенное обмеление бассейна и доминирование отложений приливно-отливной зоны. Верхние горизонты девона, как и каменноугольные отложения нижнего отдела, размыты в результате визейской регрессии.

Углистые аргиллиты, углисто-глинистые алевролиты и песчаники ханарской свиты средне-верхнего карбона имеют континентальное происхождение и сформировались, вероятно, в условиях озерно-болотистой прибрежной равнины. В среднем карбоне в разрезе рассматриваемых скважин отмечаются многочисленные уровни с внедрением траппов.

В ранней перми на севере Ледянского поднятия продолжали накапливаться терригенно-угленосные отложения, а в поздней перми здесь начинают доминировать вулканогенные образования, отвечающие этапу траппового магматизма поздне-пермского-нижне-среднетриасового возраста.

Условия осадконакопления обусловили строение первичного пустотного пространства пород и предопределили направленность и интенсивность проявления постседиментационных преобразований. Степень влияния этих факторов различна, что видно на примере рассматриваемых отложений.

Коллекторские свойства

Анализ влияния литологических характеристик пород на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) проводился с использованием результатов измерения пористости и проницаемости, полученных сотрудниками лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН С.В. Родякиным и С.А. Кугаколовым.

Терригенные отложения *кунтыкахинской* свиты среднего ордовика характеризуются хорошими фильтрационно-емкостными свойствами. Значения пористости варьируют от 7 до 16 %, проницаемость составляет в среднем около $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ мкм^2, а в отдельных пластах достигает $100 \cdot 10^{-3}$ мкм^2 (рис. 3).

Наиболее высокие показатели фиксируются в мелкозернистых хорошо сортированных песчаниках, сформированных в условиях прибрежно-мелководной зоны. Очевидно, что они обладали очень хорошими первичными (синседиментационными) ФЕС, однако развитие порового карбонатно-сульфатного и кварцевого регенерационного типов цементов ухудшили пористость и особенно проницаемость. Тем не менее, в прослоях с минимальным развитием вторичного цемента отмечаются высокие коллекторские свойства. Верхняя часть свиты отличается более глинистым составом. В редких песчаных прослоях значения пористости составляют 6–8 %, а проницаемости около $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ мкм^2.

Вверх по разрезу наблюдается снижение ФЕС, что связано с усиливающейся трансгрессией моря и формированием практически непроницаемых глинисто-карбонатных отложений *мойеронской* свиты. В более чистых карбонатных прослоях свиты пористость 1–5 %, проницаемость $\leq 0{,}03 \cdot 10^{-3}$ мкм^2.

Разрез силура имеет неоднородный состав, что нашло отражение и в распределении значений пористости и проницаемости. *Оранская* свита, несмотря на преимущественно известковый состав, характеризуется низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Пористость не превышает 1–2 %, а в среднем около 0,1 %. Проницаемость не более $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ мкм^2, а в среднем около $0{,}01 \cdot 10^{-3}$ мкм^2. Это связано с тем, что первичные коллекторские свойства шламово-детритовых и детритовых известняков были невысокими из-за обилия глинисто-известкового матрикса и плохой сортировки фаунистических остатков. Присутствие многочисленных тонких прослоев известковых аргиллитов также является фактором, ухудшающим ФЕС.

Хукэлченская свита характеризуется еще более глинистым составом, что нашло отражение в крайне низких значениях пористости и проницаемости. Исключение представляет верхняя подсвита хукэлченской свиты скважины Ледянская № 3, где в кровле залегают кораллово-строматопоровые известняки, слагающие небольшую биогермную постройку, в которых значения ФЕС повышаются до 7 % и $49 \cdot 10^{-3}$ мкм^2, соответственно.

Наилучшие коллекторские свойства наблюдаются в крупной рифогенной кораллово-строматопоровой постройке, образованной во время накопления *мунильской* свиты и нижней подсвиты *неракачинской* свиты. В биогермных доломитах пустотное пространство в основном представлено кавернами и порами выщелачивания (размер от долей мм до 1–1,5 см), которые развивались по первичным пустотам в скелетах колониальных организмов и между ними. Поскольку породы сильно перекристаллизованы, определённый вклад вносят и мелкие (≤1 мм) поры, образованные за счет перекристаллизации, часть которых также подверглась последующему растворению. Однако, несмотря на наличие многочисленных пор и каверн, значения открытой пористости в рифогенных породах относительно невысокие – в среднем около 5 %, что связано с сокращением объема пустот за счет частичного или полного заполнения их более поздней генерацией доломита. Дополнительную емкость создают многочисленные микростилолиты, развивающиеся по плоскостям напластования и выполненные битуминозным веществом. Наблюдается широкое развитие открытых трещин, часто с щелевидными расширениями за счет процессов растворения. Невысокие значения пористости при относительно высокой проницаемости от $1 \cdot 10^{-3}$ до $495 \cdot 10^{-3}$ мкм^2 позволяют предположить наличие на этом уровне коллектора каверново-трещинного типа [21].

В верхней подсвите *неракачинской* свиты наблюдается резкое снижение значений пористости и проницаемости. Поскольку седиментация в это время происходила в относительно спокойных условиях тыловой части рифа, то наряду с оолито-пизолито-инракластическими осадками, которые характеризуются благоприятной первичной структурой пустотного пространства, накапливались доломито-глинистые тонкослоистые отложения, первичные ФЕС которых крайне низкие. Отрицательную роль в формировании коллекторских свойств также сыграло развитие ангидрита. Поры в оолито-пизолито-интракластических доломитах, образованные, вероятно, в результате унаследованного выщелачивания первичных межзерновых пустот, как правило, заполнены вторичным доломитом или ангидритом, что существенно снижает

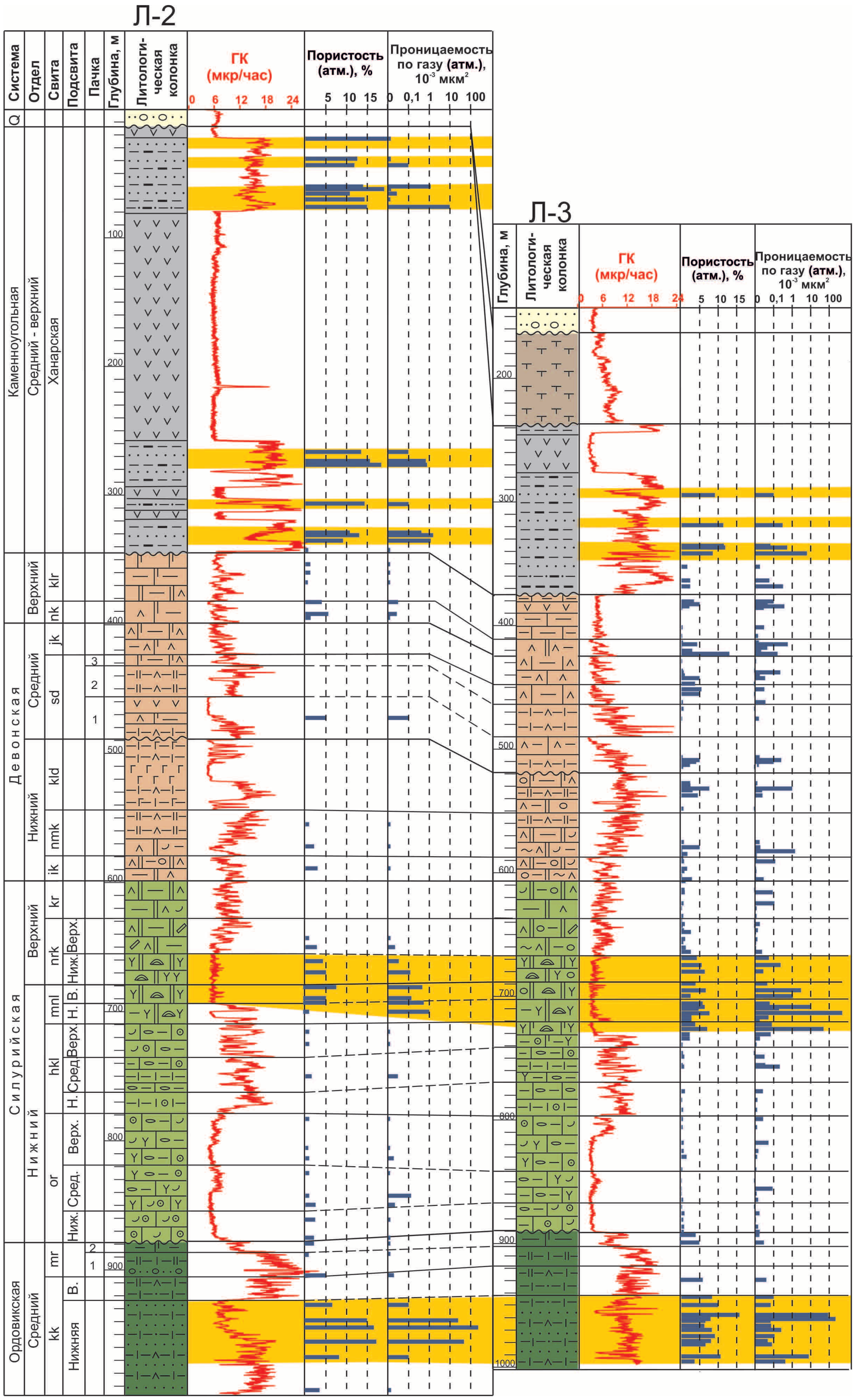

Рис. 3. *Распределение пористости и проницаемости в палеозойском разрезе Ледянского поднятия. Условные обозначения на рис. 2. Желтым цветом показаны уровни потенциальных коллекторов*

Fig. 3. *Porosity and permeability distribution in the Paleozoic section of the Ledyansk uplift. Symbols are the same as in Fig. 2. The yellow color shows the levels of potential collectors*

значения ФЕС (пористость 1–2 %, проницаемость около 0,01 %). Глинисто-сульфатно-доломитовые породы *кираской* свиты также обладают низкими значениями ФЕС.

Седиментация в девоне проходила в пределах мелководного шельфа с ограниченной циркуляцией вод, на котором широкое развитие получили карбонатно-ангидрито-глинистые осадки, в целом с достаточно низкими значениями ФЕС (пористость ≤5 %, проницаемость $\leq 0{,}1\times10^{-3}$ мкм^2). Отмечаются отдельные маломощные прослои строматолитовых и оолито-пизолитовых карбонатных пород с развитием пор, каверн и микротрещин, которые характеризуются относительно повышенной пористостью до 5–12 % и проницаемостью до $1\cdot10^{-3}$ мкм^2. Ухудшающим фактором для выделения коллекторов являются небольшие мощности этих прослоев (≤0,5 м) и ассоциация с сульфатными и глинистыми породами.

Породы каменноугольной системы, сформированные в прибрежно-континентальных условиях, имеют преимущественно песчано-аргиллитовый состав. Песчаники *ханарской* свиты обладают высокими значениями пористости в среднем около 5 %, иногда до 10–17 %, и проницаемости $(1–10)\cdot10^{-3}$ мкм^2. Однако отсутствие покрышки не позволяет рассматривать их в качестве перспективного горизонта.

Анализ распределения пористости и проницаемости по разрезу показал, что выделяются два уровня с наиболее высокими показателями ФЕС, которые можно выделить в качестве коллекторов. Это песчаники среднего ордовика прибрежно-морского генезиса, а также рифогенные коралловостроматопоровые доломиты силура (рис. 3).

Выводы

Основные результаты исследования палеозойских отложений, вскрытых скважинами на Ледянской площади, сводятся к следующему:

1. На Ледянском своде вскрыт мощный разрез средне-верхнепалеозойских отложений с небольшим количеством трапповых интрузий, состав которого неоднороден. На основании литологических исследований выяснено, что ордовик представлен преимущественно терригенными породами. В силуре доминируют карбонатные отложения. Девон характеризуется смешанным терригенно-сульфатно-карбонатным составом. Карбон сложен углисто-терригенными породами.
2. Установлено, что осадконакопление в ордовикско-девонский период происходило в широком спектре мелководно-морских обстановок: прибрежных частях открытого шельфа, приливно-отливных отмелях, засолоненных мелководных лагунах и рифовых зонах. В карбоне доминировала прибрежно-континентальная седиментация.
3. На основе изучения вещественно-структурных особенностей пород и данных по пористости и проницаемости выявлена связь между литологическими особенностями палеозойских отложений и их коллекторскими свойствами. Выделено два потенциальных коллектора: 1 – рифогенные породы силура, в которых наиболее интенсивно прошли постседиментационные процессы выщелачивания и стилолитообразования, 2 – песчаники ордовика, в которых сохранилась первичная пористость. Карбонатно-сульфатно-глинистые отложения и пласты солей в остальных частях разреза могут выступать в качестве флюидоупоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ордовик и силур Ледянской площади по данным бурения / Т.А. Дивина, В.С. Старосельцев, Т.В. Лопушинская, А.Г. Ядренкина // Геология и геофизика. – 1992. – № 3. – С. 19–27.
2. Новые материалы по стратиграфии докембрия и кембрия северо-востока Тунгусской синеклизы / Т.А. Дивина, Л.И. Егорова, А.А. Салихов, В.С. Старосельцев, Г.В. Белобородова // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 7. – С. 23–33.
3. О состоянии и перспективах ресурсной базы углеводородов, геолого-разведочных работ и лицензировании недр Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) / В.С. Ефимов, А.А. Герт, П.Н. Мельников, В.С. Старосельцев, А.А. Вымятнин, В.Г. Акимов, И.И. Черепанова, М.В. Бражникова // Геология нефти и газа. – 2012. – № 5. – С. 58–74.
4. Баженова Т.К., Казаис В.И. История нефтегазообразования и нефтегазонакопления на северо-западе Сибирской платформы (историко-геохимический и структурно-исторический анализ) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6. – № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/15_2011.pdf (дата обращения: 18.03.2014).
5. Литостратиграфия силура северо-запада Сибирской платформы / Н.В. Мельников, Т.В. Лопушинская, Т.А. Дивина, В.А. Кринин, Л.Д. Дорошенко // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 4 (20). – С. 3–17.
6. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Тунгусский бассейн / А.Э. Конторович, В.С. Старосельцев, В.С. Сурков и др. – Новосибирск: Наука, 1994. – Вып. 5. – 91 с.
7. Тектоническая карта венд-нижнепалеозойского структурного яруса Лено-Тунгусской провинции Сибирской платформы / А.Э. Конторович, С.Ю. Беляев, А.А. Конторович и др. // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 8. – С. 851–862.
8. Ордовик северо-запада Сибирской платформы / Ю.И. Тесаков, А.В. Каныгин, А.Г. Ядренкина и др. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2003. – 260 с.
9. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Ордовик Сибирской платформы / А.В. Каныгин, А.Г. Ядренкина, А.В. Тимохин и др. – Новосибирск: Гео, 2007. – 269 с.
10. Силур северо-запада Сибирской платформы / Ю.И. Тесаков, О.Н. Симонов, Е.О. Ковалевская и др. – Новосибирск: Гео, 2002. – 405 с.
11. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Силур Сибирской платформы / Ю.И. Тесаков, Н.Н. Предтеченский, Т.В. Лопушинская и др. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2000. – 407 с.
12. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 2. Средний и верхний палеозой. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 1982. – 128 с.
13. Стратиграфическая основа девонской системы Сибирской платформы / Р.Г. Матухин и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1995. – 80 с.
14. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. – М.: Недра, 1980. – 463 с.

15. Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 1006 p.
16. Davis R.A., Dalrymple R.W. Principles of Tidal Sedimentology. – London: Springer Dordrecht Heidelberg London, 2012. – 609 p.
17. Hardie L.A., Shinn E.A. Carbonate depositional environments. Modern and ancient. P. 3: Tidal flats // Colorado School of Mines, Quarterly. – 1986. – V. 81. – № 1. – P. 1–74.
18. Старосельцев В.С., Дивина Т.А. Механизм девонского соленакопления на северо-западе Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2 (10). – С. 88–95.
19. Матухин Р.Г. Девон и нижний карбон Сибирской платформы (состав, условия осадконакопления, минерагения). – Новосибирск: Наука, 1991. – 164 с.
20. Warren J.K. Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbon. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 1035 p.
21. Багринцева К.И., Дмитриевский А.Н., Бочко Р.А. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. – М.: Иван Федоров, 2003. – 264 с.

Поступила 26.06.2015 г.

UDC 552+553.98

LITHOLOGICAL FEATURES OF FORMING PALEOZOIC COLLECTORS OF THE LEDYANSK UPLIFT (NORTH TUNGUSKA OIL-AND-GAS AREA)

Irina V. Varaksina,
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences, 3, Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.
E-mail: VaraksinaIV@ipgg.sbras.ru

Igor V. Tumashov,
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences 3, Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.
E-mail: TumashovIV@ipgg.sbras.ru

The relevance of research *is caused by the need to study and search oil and gas fields in the Arctic regions of Russia. As the exploration drilling of these areas is very low, the more detailed study of previously drilled wells is required for successful exploration.*
The main aim of the study *is to determine the influence of sedimentation and post-sedimentation factors on formation of the void space of different rock types and to define the levels of potential reservoirs in the Paleozoic section of the Ledyansk uplift.*
Objects of researches *are Paleozoic sediments that were opened by Ledyansk wells in the north of the North Tunguska NGO.*
The methods used in the study: *construction of sections of the Paleozoic sediments on the basis of detailed core descriptions, results of GIS (Well logging) and paleontological research; petrographic study of the main types of rocks involved in the structure of the section; genetic analysis of different rock types and clarification of the conditions of their sedimentation; study of the void space of rocks in cores and thin sections; determination of relationship between lithological characteristics and reservoir properties of the Paleozoic rocks.*
The results. *The authors identified the composition, structure and depositional environment of the Paleozoic sediments, exposed to Ledyansk uplift. The influence of sedimentation and post-sedimentation factors were identified on the formation of reservoirs. It was determined that the highest rates of porosity and permeability are observed in the carbonate rocks of the Silurian reef where leaching has influenced most intensively on rocks and in the Ordovician and Carboniferous sandstones with good primary porosity.*

Key words:
Lithology, North Tunguska oil-and-gas area, Ledyansk uplift, Paleozoic sediments.

REFERENCES

1. Divina T.A., Staroseltsev V.S., Lopushinskaya T.V., Yadrenkina A.G. Ordovik i silur Ledyanskoy ploshchadi po dannym bureniya [Ordovician and Silurian of the Ledyansk area by drilling data]. *Russian Geology and Geophysics*, 1992, no. 3, pp. 19–27.
2. Divina T.A., Egorova L.I., Salikhov A.A., Staroseltsev V.S., Beloborodova G.V. Novye materialy po stratigrafii dokembriya i kembriya severo-vostoka Tungusskoy sineklizy [New materials on the stratigraphy of Precambrian and Cambrian of northeast Tunguska syncline]. *Russian Geology and Geophysics*, 1996, vol. 37, no. 7, pp. 23–33.
3. Efimov V.S., Gert A.A., Melnikov P.N., Staroseltsev V.S., Vymyatnin A.A., Akimov V.G., Cherepanova I.I., Brazhnikova M.V. O sostoyanii i perspektivakh resursnoy bazy uglevodorodov, geologo-razvedochnykh rabot i litsenzirovanii nedr Vostochnoy Sibiri i Respubliki Sahka (Yakutiya) [On the state and prospects of the resource base of hydrocarbons, geological prospecting and licensing of mineral deposits in Eastern Siberia and the Sakha Republic (Yakutia)]. *Geologija nefti i gaza – Geology of oil and gas*, 2012, no. 5, pp. 58–74.
4. Kazais V.I., Bazhenova T.K. Istoriya neftegazoobrazovaniya i neftegazonakopleniya na severo-zapade Sibirskoy platformy (istoriko-geokhimicheskiy i strukturno-istoricheskiy analiz) [The history of oil and gas generation and accumulation in the Northwest of the Siberian platform (historical geochemical and structural-historical analysis)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya*

i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies, 2011, vol. 6, no. 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/15_2011.pdf (accessed: 18 March 2014).

5. Melnikov N.V., Lopushinskaya T.V., Divina T.A., Krinin V.A., Doroshenko L.D. Litostratigrafiya silura severo-zapada Sibirskoy platform [Lithostratigraphy of Silurian of the North-West of the Siberian platform]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri*, 2014, no. 4 (20), pp. 3–17.
6. Kontorovich A.E., Staroseltsev V.S., Surkov V.S. Neftegazonosnye basseyny i regiony Sibiri. Tungusskiy bassejn [Oil and gas basins and regions of Siberia. Tunguska basin]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1994. Iss. 5, 91 p.
7. Kontorovich A.E., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.A. Tektonicheskaya karta vend-nizhnepaleozoyskogo strukturnogo yarusa Leno-Tungusskoy provintsii Sibirskoy platformy [Tectonic map of the Vendian-Lower Paleozoic structural stage of the Lena-Tunguska province of the Siberian Platform]. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 8, pp. 851–862.
8. Tesakov Yu.I., Kanygin A.V., Yadrenkina A.G. *Ordovik severo-zapada Sibirskoy platformy* [Ordovician of northwest of Siberian platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2003, 260 p.
9. Kanygin A.V., Yadrenkina A.G., Timokhin A.V. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Ordovik Sibirskoy platformy* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. The Ordovician of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2007. 269 p.
10. Tesakov Yu.I., Simonov O.N., Kovalevskaya E.O. *Silur severo-zapada Sibirskoy platformy* [Silurian of northwest of Siberian platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2002. 405 p.
11. Tesakov Yu.I., Predtechenskiy N.N., Lopushinskaya T.V. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Silur Sibirskoy platformy* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. The Silurian of the Siberian platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2000. 407 p.
12. *Resheniya Vsesoyuznogo stratigraficheskogo soveshchaniya po dokembriyu, paleozoyu i chetvertichnoy sisteme Sredney Sibiri. Ch. 2. Sredniy i verkhniy paleozoy* [The decisions of the All-Union meeting on stratigraphic Precambrian, Paleozoic and Quaternary System of Central Siberia. P. 2. Middle and Upper Paleozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Press, 1982. 128 p.
13. Matukhin R.G. *Stratigraficheskaya osnova devonskoy sistemy Sibirskoy platformy* [Devonian stratigraphic base of the Siberian Platform]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Press, 1995. 80 p.
14. Uilson Dzh.L. *Karbonatnye fatsii v geologicheskoy istorii* [Carbonate facies in geologic history]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 463 p.
15. Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application.* Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 1006 p.
16. Davis R.A., Dalrymple R.W. *Principles of Tidal Sedimentology*. London, Springer Dordrecht Heidelberg London, 2012. 609 p.
17. Hardie L.A., Shinn E.A. Carbonate depositional environments. Modern and ancient. P. 3: Tidal flats. *Colorado School of Mines, Quarterly*, 1986, vol. 81, no. 1, pp. 1–74.
18. Staroseltsev V.S., Divina T.A. Mekhanizm devonskogo solenakopleniya na severo-zapade Sibirskoy platformy [The mechanism of Devonian salt accumulation in northwest of Siberian platform]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri*, 2012, no. 2 (10), pp. 88–95.
19. Matukhin R.G. *Devon i nizhniy karbon Sibirskoy platformy (sostav, usloviya osadkonakopleniya, mineragheniya)* [Devonian and Lower Carboniferous of the Siberian Platform (composition, sedimentation, mineragseny)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 164 p.
20. Warren J.K. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbon*. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 1035 p.
21. Bagrintseva K.I., Dmitrievskiy A.N., Bochko R.A. *Atlas karbonatnykh kollektorov mestorozhdeniy nefti i gaza Vostochno-Evropeyskoy i Sibirskoy platform* [Atlas of carbonate reservoirs of oil and gas deposits of the East European and Siberian platforms]. Moscow, Ivan Fedorov Publ., 2003. 264 p.

Received: 26 June 2015.