

УДК 552.5

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПУР-ТАЗОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЛОДОЧНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)



Д.А. Черданцева¹, Л.А. Краснощекова²

¹Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

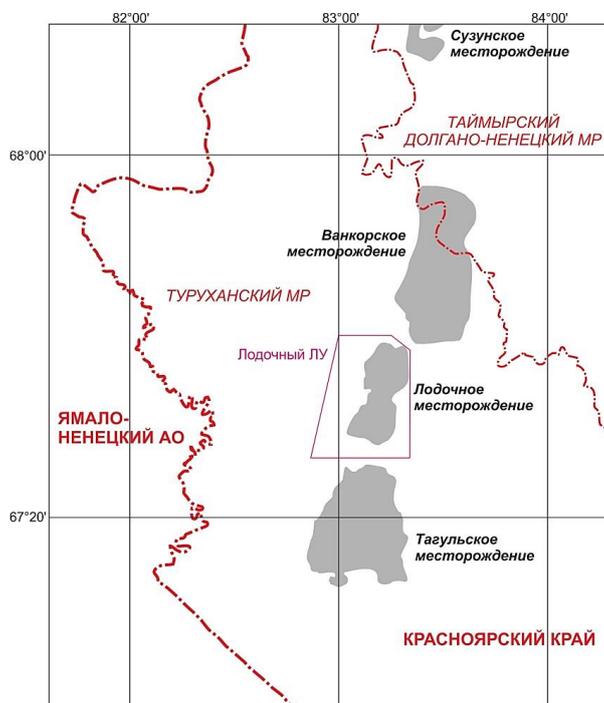
Приведены результаты литолого-фациального изучения нижнемеловых отложений Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения. Петрографический анализ установил взаимосвязь между составом обломочной части песчаников и особенностями их эпигенетического преобразования, позволил выделить основные процессы, влияющие на фильтрационно-емкостные свойства пород. Гранулометрический и седиментологический анализы дали возможность уточнить условия формирования продуктивных песчаных пластов месторождения.

Ключевые слова: вещественный состав, песчаник, диагенез, катагенез, нефтегазоконденсатное месторождение, нижнемеловые отложения

Введение

Туруханский центр нефтедобычи в России активно развивается начиная с 2009 г. В его состав, помимо уникального Ванкорского месторождения, входят ряд близлежащих месторождений Большешетского вала:

Лодочное, Тагульское и Сузунское (рис. 1), основные запасы нефти и газа в которых приурочены к меловым и верхнеюрским отложениям. Освоение всех месторождений Ванкорского кластера имеет важное стратегическое значение для российской экономики [Орлов, 2009; Кирюхин и др., 2011].



Условные обозначения:

- границы субъектов РФ
- месторождения углеводородов

Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Fig. 1. The research area location map

Лодочное нефтегазоконденсатное месторождение расположено на севере Красноярского края; входит в состав Большехетского нефтегазоносного района Пур-Тазовской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Основные запасы нефти и газа на территории Большехетской террасы приурочены к меловым и верхнеюрским отложениям. Современное структурно-тектоническое строение западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба, включая анализ истории тектонического развития территории, выявление основных этапов формирования структур различных порядков, позволило «установить связь тектонических процессов с процессами нефтеобразования и сделать вывод о высоких перспективах нефтегазоносности неокомского клиноформного комплекса в Енисей-Хатангском региональном прогибе» [Конторович, 2011, с. 1027].

Районирование перспектив нефтегазоносности региона сделало возможным провести их переоценку с учетом тектонических особенностей фундамента и увеличить начальные суммарные извлекаемые ресурсы нефти в северо-восточной части Западно-Сибирского нефтегазового бассейна на территории Красноярского края [Кринин, 2011].

Открытые в рассматриваемом регионе месторождения М.А. Фомин разделил на пять групп в зависимости от возраста залежей. Залежи углеводородов (нефти, газа, газового конденсата) на Сузунском, Ванкорском и Лодочном месторождениях преимущественно локализованы в отложениях мела: в нижней части нижнехетской свиты и в верхней части малохетской–нижней части яковлевской свиты, что дало возможность объединить эти месторождения в один ареал. На основе полученных закономерностей выделен стратификационный критерий для прогноза «открытия новых залежей углеводородов в конкретных толщах, в том числе и в пределах положительных структур, если они попадают в тот или иной ареал перспективности» [Фомин, 2014, с. 19]. Исследования [Поляков и др., 2001] выявили широкое развитие в составе природных резервуаров продуктивного нижнехетского горизонта, который характеризуется изменчивым строением и составом слагающих пород, ложных покрышек, влияющих на нефтегазоносность площадей.

Опубликованные работы по литолого-петрографическому изучению керна, вторичному преобразованию пород и фациальному анализу обстановок осадконакопления коллекторов относятся преимущественно к Ванкорскому и, реже, к Сузунскому месторождениям. Было установлено [Фокин и др., 2008], что продуктивные песчаные пласты нижнехетской свиты Ванкорского месторождения формировались в прибрежно-морских условиях, яко-

влевской свиты – в аллювиальных обстановках: нижняя часть сложена песчаными телами устьевых баров, верхняя часть представлена отложениями меандрирующих дельтовых протоков. Уточнение условий накопления отложений яковлевской и нижнехетской свит на Ванкорском месторождении в раннемеловую эпоху на основе литолого-фациального анализа с учетом гранулометрических результатов было проведено ранее [Квачко, 2010]. Литолого-фациальная модель отложений нижнехетской свиты с учетом комплексного использования седиментологического анализа керна, данных ГИС и 3D сейсморазведки в Сузунском нефтегазоносном районе была предложена Г.Л. Розбаевой [Розбаева, 2014]. Последующее изучение вторичного минералообразования в нижнемеловых отложениях Большехетской впадины [Титов и др., 2019] позволило выделить стадии фонового катагенеза и эпигенеза.

Работы по лабораторному изучению кернового материала, отобранного на территории Лодочного месторождения, осуществлялись на базе аналитического центра АО «ТомскНИПИнефть» с 2014 г. Цель исследования – изучение вещественного состава, выявление и построение схемы последовательности постседиментационных изменений нефтеносных песчаных пород Лодочного месторождения, сформировавшихся в различных фациальных обстановках.

Задачи исследования включали в себя уточнение условий осадкообразования продуктивных песчаных отложений и установление основных литологических характеристик песчаников, влияющих на их фильтрационно-емкостные свойства.

Геология месторождения

Территория исследования располагается на западном склоне террасы Большехетской впадины в северо-восточной части Западно-Сибирской плиты. Большехетская структурная терраса представляет собой сложно построенную зону, нарушающую монотонность восточного борта Надым-Тазовской синеклизы и имеет, в целом, субмеридиональную ориентировку (рис. 2). Западным склоном структурная терраса сочленяется с Пендомаяхской впадиной. Восточная часть региона относится к Приенисейской моноклизе – крупной надпорядковой структуре, примыкающей к Сибирской платформе. Ее северное более пологое окончание известно под названием «Пакулихинская моноклираль» [Поляков и др., 2001].

Большехетская терраса осложнена локальными структурными элементами меньшего порядка – Сузунским и Лодочным валами, в пределах последнего в северной его части выделяется Ванкорское поднятие.

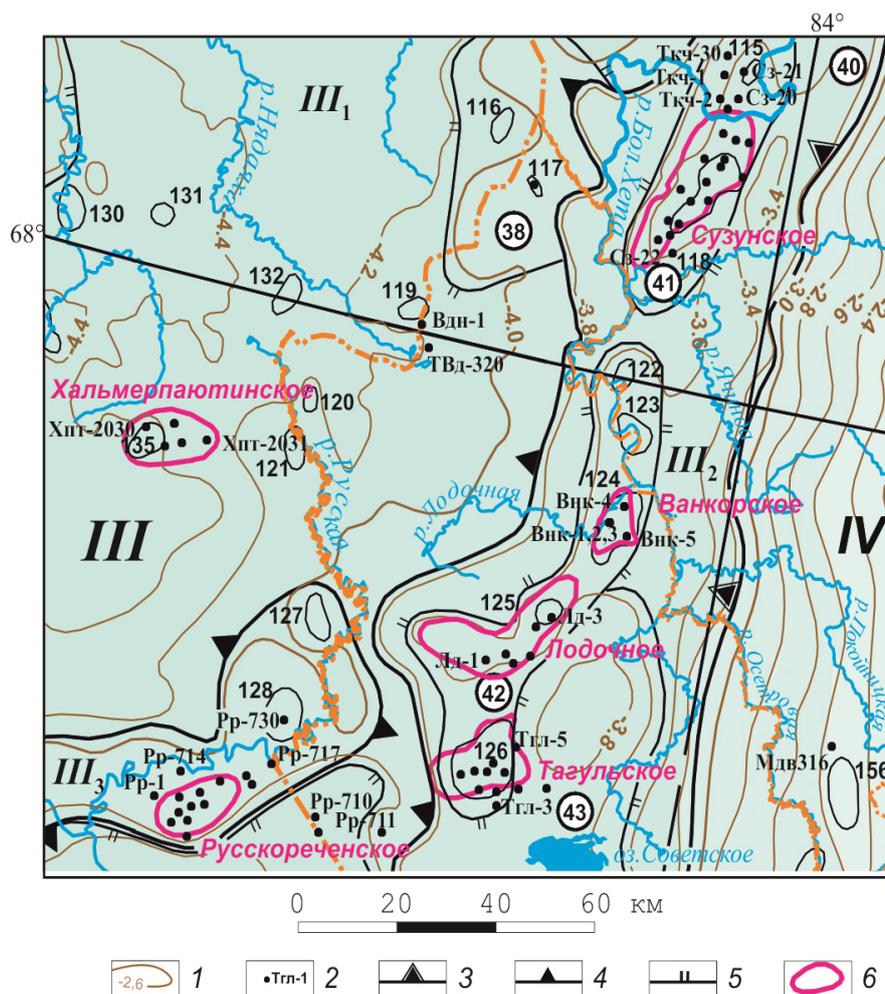


Рис. 2. Фрагмент структурно-тектонической карты Красноярского края (под редакцией В.А. Кренина, 2001 г.) [Поляков и др., 2001]

1 – изогипсы опорного сейсмического отражающего горизонта IIIb в подошве верхнеюрско-меловых отложений; 2 – скважины, название и номер; границы тектонических элементов: 3 – надпорядковых; 4, 5 – соответственно первого и второго порядка; 6 – месторождения; надпорядковые структуры: III – Надым-Тазовская синеклиза; IV – Пакулихинская моноклираль; структуры первого порядка: III₁ – Пендомаяхская впадина; III₂ – Большехетская структурная терраса; III₃ – Тазовско-Русскореченский мегавал; структуры второго порядка: 38 – Чарский выступ; 40 – Долганский структурный залив; 41 – Сузунский вал; 42 – Лодочный вал; 43 – Советский структурный залив

Fig. 2. The Krasnoyarsk Territory structural-tectonic map fragment (edited by V.A. Krinin, 2001) [Polyakov et al., 2001]

1 – isohypses of the reference seismic reflecting horizon IIIb in the base of the Upper Jurassic-Cretaceous deposits; 2 – wells, name and number; tectonic element boundaries: 3 – superorder; 4, 5 – the first and the second order respectively; 6 – deposits; superorder structures: III – Nadym-Taz syncline; IV – Pakulikhinskaya monocline; the first order structures: III₁ – Pendomayakhskaya depression; III₂ – Bolshekhetskaya tectonic terrace; III₃ – Tazovsko-Russkorechensky mega-arch; the second order structures: 38 – Charsky tectonic ledge; 40 – Dolgan tectonic depression; 41 – Suzunsky arch; 42 – Lodochnyy arch; 43 – Soviet tectonic depression

Промышленные запасы нефти и газа рассматриваемой территории сконцентрированы исключительно в ловушках структурного типа, в редких случаях некоторые залежи имеют литологическое ограничение за счет замещения песчаников пелитовыми разностями [Житков и др., 2016]. Нефтегазоносными отложениями на месторождениях Большехетской террасы (Сузунском, Лодочном, Ванкорском, Тагульском) являются преимущественно отложения нижне- и верхнемелового возраста.

Главным очагом генерации углеводородов, мигрировавших в направлении Ванкорского, Лодочного и Тагульского поднятий, являлась Пендомаяхская впадина, процессы генерации продолжались с начала мелового времени до середины палеогена. Это способствовало созданию благоприятных условий для формирования залежей углеводородов в мезозойских отложениях антиклинальных ловушек Большехетской структурной террасы [Кренин и др., 2006].

К настоящему времени в пределах Пур-Тазовской НГО открыто более 20 месторождений нефти и газа. Основными объектами поисков залежей углеводородов являются юрско-меловые отложения, которые представляют собой чередование песчаных пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, и алевропелитовых, для которых характерны высокие экранирующие свойства.

Лодочное нефтегазоконденсатное месторождение является многопластовым, основные продуктивные пласты приурочены к нижнемеловым отложениям нижнехетской (K₁nch), суходудинской (K₁sd), малохетской (K₁mh) и яковлевской (K₁jak) свит и частично к верхнемеловым отложениям – долганской (K₂dl) и дорожковской (K₂dr) свит. В породах насоновской (K₂ns), салпадинской (K₂sl) и танамской свит (K₂tn) нефтепроявлений не выявлено (рис. 3).

Нижнехетская и суходудинская свиты сложены ритмично переслаивающимися песчаниками, алев-

ролитами, аргиллитами и их переходными разностями. Малохетская свита представлена преимущественно песчаниками с редкими карбонатизированными прослоями. Отложения яковлевской свиты по литологическим особенностям делятся на две толщи: нижнюю – угленосную и верхнюю – песчано-глинистую. Песчаные породы долганской свиты слабо литифицированы и неравномерно переслаиваются с аргиллитоподобными глинами, аргиллитами и алевролитами с пропластками и линзами углей и известково-сидеритизированных песчаников. Дорожковская свита в основном сложена глинистыми разностями, алевритами с чередующимися тонкими прослоями известковых песчаников и углистого алевритового материала. Всего на месторождении выделяют более 20 продуктивных пластов. В статье приведены обобщенные литологические характеристики всех изученных пластов по свитам.

Система	Отдел	Свита	Литология	Пласт	Краткая литологическая характеристика пород
Мел (К)	Верхний	K ₂ tn			Алевролиты с прослоями слабосцементированных песчаников и аргиллитоподобных глин. Цвет пород серый, светло-серый, реже желтовато-серый.
		K ₂ sl			Серые, темно-серые с зеленоватым оттенком аргиллитоподобные глины с подчиненными прослоями алевролитов.
		K ₂ ns			Ритмично чередующиеся алевролиты, аргиллитоподобные глины с редкими прослоями слабосцементированных песчаников.
		K ₂ dr		Др-I	Тонкое переслаивание алевролитов, светло-серых аргиллитоподобных глин с редкими прослоями слабосцементированных песчаников.
		K ₂ dl		Дл-I Дл-II-III	Преимущественно серые песчаники с подчиненными прослоями известковых разностей, серых алевролитов и темно-серых аргиллитоподобных глин.
	Нижний	K ₁ jak		ВЯк-I-XVII Як-I-VIII	Переслаивание аргиллитов и песчаников с подчиненными прослоями алевролитов. Породы в верхней части разреза преимущественно светло-серые, в нижней - темно-серые. Прослойки каменных углей с неравномерным распределением.
		K ₁ mh		Мх-I	Переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов. Песчаники серые, реже зеленовато-серые, мелкозернистые, в различной степени глинистые, прослоями известковистые. Алевролиты и аргиллиты серые, темно-серые, плотные, слоистые, содержат обугленные растительные остатки.
		K ₁ sd		Сд-III Сд-IV	Аргиллиты и алевролиты глинистые темно-серого цвета. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, кварц-полевошпатовые. Алевролиты темно-серые, крупнозернистые. Переслаивание темно-серых аргиллитов и серых, в различной степени глинистых, алевролитов.
		K ₁ nch		Нх-I Нх-III-0 Нх-III-IV	Ритмичное чередование песчано-алевролитовых и глинисто-алевролитовых пород с преобладанием последних. Породы серого и темно-серого цвета.

Рис. 3. Сводный литологический разрез меловых отложений Лодочного месторождения

Fig. 3. The Lodochnoe deposit Lithological section of Cretaceous

Методы исследований

При проведении исследований авторами был изучен керновый материал из восьми скважин общей протяженностью 2442,43 м и 513 покрашенных синей эпоксидной смолой шлифов из 21 продуктивного пласта дорожковской, долганской, яковлевской, малохетской, суходудинской и нижнехетской свит Лодочного месторождения.

Петрографическое изучение шлифов терригенных пород проводилось на поляризационном микроскопе Olympus BX-53 с установленной фотокамерой SIMAGIS XS-6CU.

Гранулометрическая размерность обломков определялась методом рассеивания лазерного луча с использованием анализатора крупности частиц Microtrac S3500, позволяющего устанавливать размер частиц в диапазоне от 0,02 до 280 мк.

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов горных пород проводился на рентгеновском дифрактометре RIGAKU Ultima IV. Стандартные параметры съемки: анод – Cu (медь), напряжение рентгеновской трубки – 40 кВ, ток – 30 мА, мощность – 1.2 кВт, углы съемки 2Θ от 2 до 65° , скорость съемки $1^\circ/\text{мин}$, шаг $0,02^\circ$. Пробоподготовка глинистой фракции на РФА включала: механическое дробление образцов, отмучивание глинистой фракции в ультразвуковой ванне с последующим отбором образцов гравитационным методом, нанесение образца на предметное стекло и высушивание при комнатной температуре. Для дополнительного исследования глинистой фракции использовалось насыщение парами органической жидкости (этиленгликоль). Расшифровка дифрактограмм производилась в полуавтоматическом режиме с участием оператора, который задавал основные параметры поиска.

Вещественный состав пород

Исследуемые песчаные породы дорожковской, долганской, малохетской, суходудинской и нижне-

хетской свит по составу, согласно классификации песчаных пород [Шванов, 1987], относятся преимущественно к кварцевым грауваккам; в отложениях яковлевской свиты преобладают аркозовые (верхнеяковлевская подсвита) и мезомиктовые (нижнеяковлевская подсвита) песчаные разности (рис. 4).

Наиболее распространенная микротекстура в продуктивных песчаниках всех свит – ориентированная, ее формирование связано с субпараллельным расположением удлиненных обломочных зерен. Слойчатая микротекстура возникла как результат послыоного обогащения пород чешуйками биотита, удлиненными выделениями органического вещества, пелитоморфными агрегатами сидерита, аксессуарными и рудными минералами (рис. 5, а). Часто отмечается нарушение первичной текстуры биотурбацией, встречаются фрагменты ходов роющих организмов, остатки корневых систем растений.

Структура песчаников мелко- и среднезернистая, встречаются тонко- и крупно-среднезернистые разности. В отложениях нижнеяковлевской подсвиты распространены и разнозернистые песчаники.

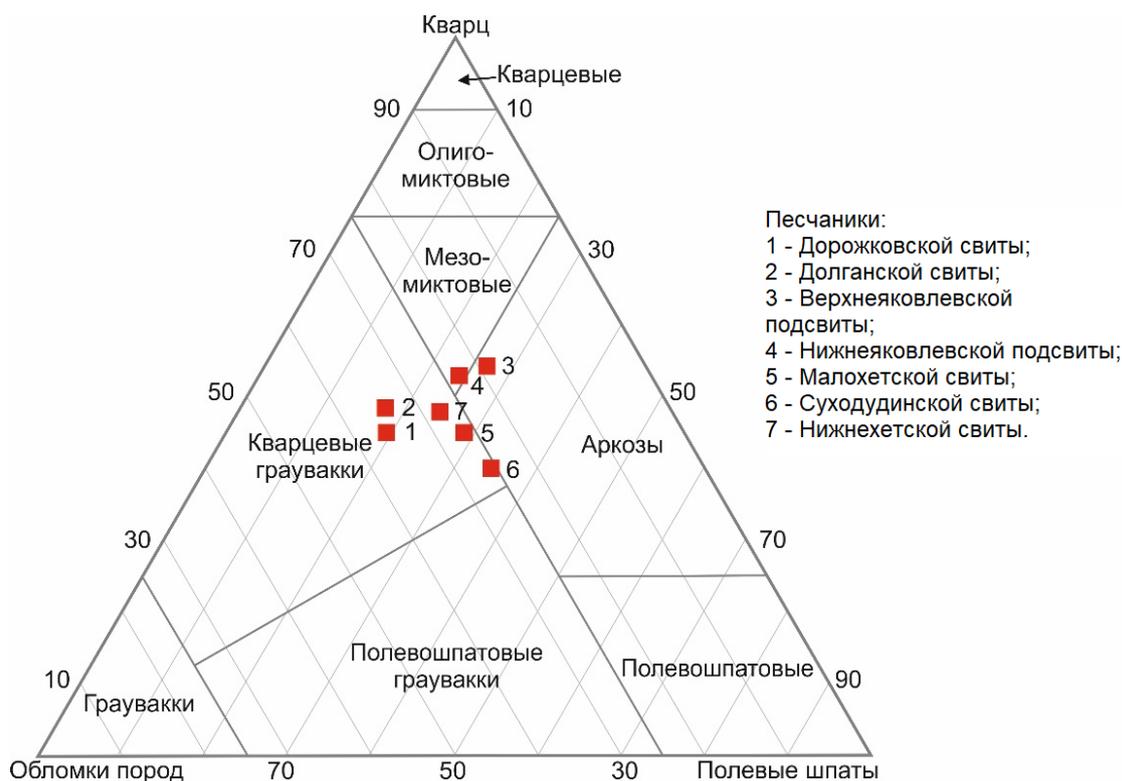


Рис. 4. Классификационная диаграмма песчаных пород по В.Н. Шванову [Шванов, 1987] с фигуративными точками усредненного состава песчаников пластов-коллекторов Лодочного месторождения

Справа указаны изученные свиты и соответствующие им номера. При построении использованы данные 513 шлифов из 21 продуктивного пласта

Fig. 4. The Lodochnoe deposit sandstone reservoirs averaged composition according to V.N. Shvanov diagram [Shvanov, 1987]

On the right are the studied suites and their corresponding numbers; by analyzed 513 thin sections from 21 productive layers

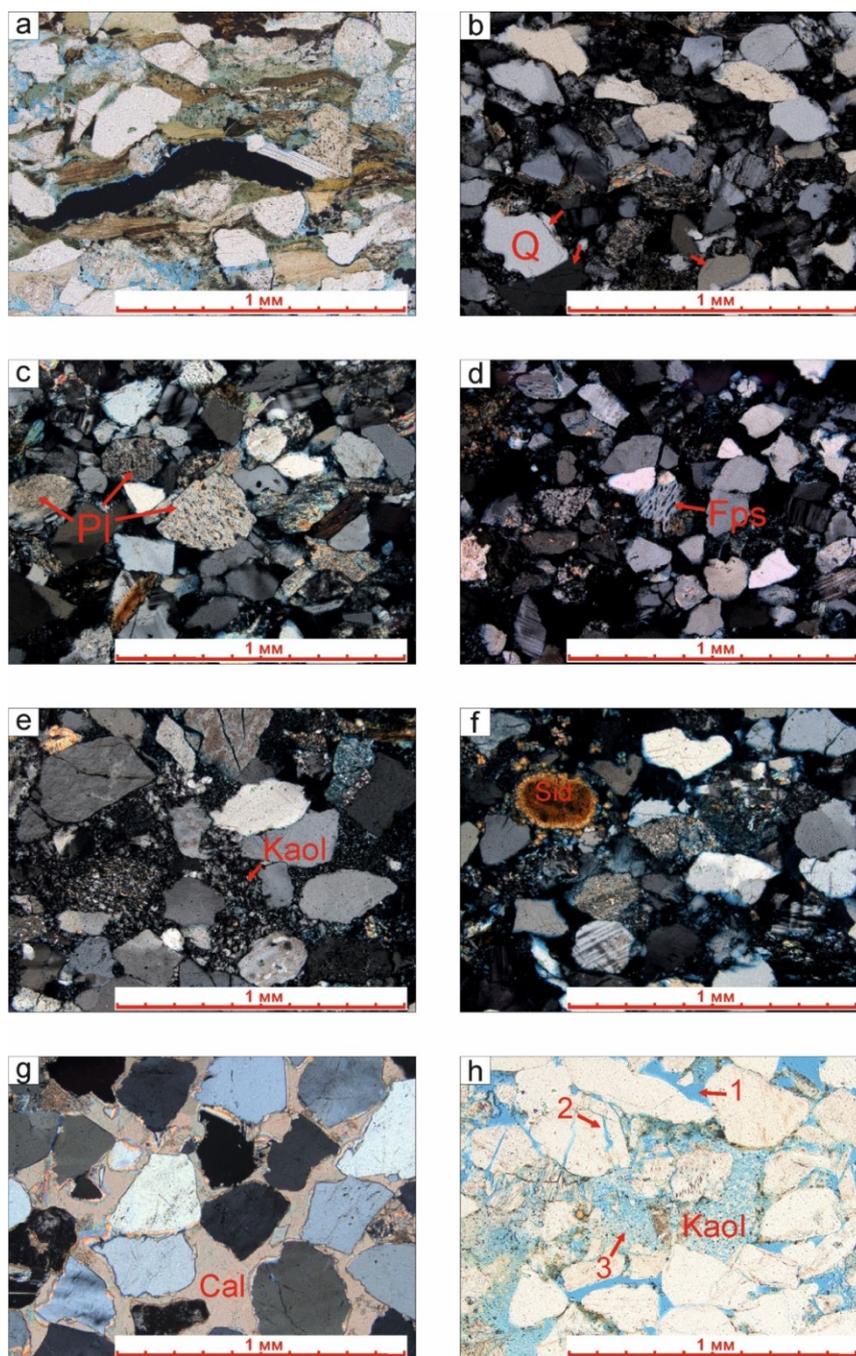


Рис. 5. Фотографии шлифов, характеризующие особенности строения, вещественного состава и вторичных преобразований песчаных пород

a – слоистая микротекстура песчаника; b – регенерационный кварцевый цемент, стрелками показана кварцевая каемка на зернах; c – серицитизация и сосюритизация плагиоклазов; d – поровое выщелачивание зерен, стрелками показаны частично растворенные зерна; e – раскристаллизация каолинита в поровом пространстве; f – сидеритовые конкреции в породе; g – базальный коррозионный кальцитовый цемент; h – поровое пространство окрашено в синий цвет, стрелками показаны: 1 – межзерновые поры угловатой формы, 2 – вторичные микропоры, возникшие за счет частичного растворения обломков, 3 – микропористость в каолиновом цементе. Условные обозначения: Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Fps – полевые шпаты, Kaol – каолинит, Sid – сидерит, Cal – кальцит. Фотографии шлифов a, h – без анализатора, b–g – с анализатором

Fig. 5. Sandstones photomicrographs characterizing the structural features, material composition and secondary transformation of rocks:

a – layered sandstone microtexture; b – regenerative quartz cement, arrows show a recovery quartz boundaries on grains; c – plagioclase grains sericitization and saussuritization; d – feldspar grains fragmentary dissolving; e – kaolinite crystallization in the pore space; f – siderite nodules in the rock; g – corrosion-basal calcite cement; h – the pore space is colored blue, the arrows show: 1 – intergranular pores with an angular shape, 2 – secondary micropores as a result of the partial grains dissolution of, 3 – microporosity in kaolinite cement. Legend: Q – quartz, Pl – plagioclase, Fps – potassium feldspar, Kaol – kaolinite, Sid – siderite, Cal – calcite. Thin sections photos: a, h – in plane-polarized light, b–g – in cross-polarized light

Кварц является преобладающим минералом в анализируемых образцах. Он наиболее устойчив к разрушению, по сравнению с другими порообразующими минералами [Симанович, 1978], однако внутренняя его структура в процессе литогенеза все же претерпела ряд преобразований. Фрагментарно в породах отмечается незначительная коррозия кварцевых зерен и умеренная регенерация обломков по периферии (см. рис. 5, *b*). По-видимому, это стало возможным при одновременном воздействии двух факторов: давления и температурной активации. Растворение зерен кварца с образованием «изъеденных» неровных очертаний и сопутствующий рост регенерационного цемента по периферии обломков свидетельствуют о переотложении растворенной кремнекислоты здесь же на месте [Логвиненко, 1968]. Толщина регенерационных каемок не превышает 0,01 мм. Можно предположить, что песчаные породы прошли стадию катагенетического преобразования, на что указывают следы гравитационного уплотнения породы – конформные контакты зерен.

Полевые шпаты представлены плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами: микроклином, ортоклазом и пертитовыми сростками. Из вторичных изменений в минералах отмечается пелитизация и каолинизация калишпатов, серицитизация и редко соссорицитизация плагиоклазов (рис. 5, *c*). Степень изменения полевых шпатов различная, начиная от относительно свежих, почти не преобразованных индивидов, до интенсивно замещенных вторичными минералами. В отдельных случаях фиксируются образования полных псевдоморфоз глинистого и глинисто-серицитового состава, имеющих удлиненно-четырёхугольную форму, свойственную зернам полевых шпатов. Активное выщелачивание обломков полевых шпатов привело к формированию вторичной внутризерновой микропористости, в участках растворения зерен локально наблюдается каолиновый цемент (рис. 5, *d*).

Из **обломков пород** встречаются микрокварциты, кварц-серицитовые и глинистые сланцы, гранитоиды, метавулканыты основного состава, алевролиты и обломки кремнистых пород. Состав питающих провинций на протяжении накопления песчаных отложений всех изученных свит, по-видимому, был неизменным, о чем свидетельствует относительное постоянство состава обломков пород. Фрагменты метавулканитов часто замещены хлоритом, в единичных случаях отмечены следы пластичной деформации глинистых обломков с выдавливанием их в поровое пространство песчаников.

Среди **акцессорных минералов** наиболее распространены рутил, циркон, турмалин и апатит, реже встречаются сфен, гранат, минералы группы эпидота, хромит и титаномагнетит.

В породах отмечены единичные пленки лейкоксена, зерна глауконита (до 5,4 % в отложениях

дорожковской свиты) и стяжения пирита (до 1,2 % в нижнеяковлевской подсвите).

Слюдами наиболее обогащены породы дорожковской и долганской свит. Среднее содержание мусковита в них варьирует от 2,1 до 2,9 %, а биотита – от 2,2 до 3,4 % соответственно. Меньше всего слюд отмечено в верхнеяковлевской подсвите: среднее содержание мусковита не превышает 0,9 %, а биотита – 0,4 % от площади шлифа. Для слюд характерна активная гидратация и расщепление на волокнистые агрегаты на концах чешуек. По биотиту отмечается развитие пелитоморфных агрегатов сидерита, иногда до полного замещения первого. Стоит отметить, что чешуйки биотита в пелитовой фракции более податливы и их трансформация протекала значительно быстрее, по-видимому, начиная еще с ранних этапов диагенеза. Подобная закономерность фиксировалась при изучении последовательности преобразования песчаных пород при разделении стадий между диагенезом и эпигенезом в работе [Копелиович, 1965]. Однако то, как именно происходило изменение слюд, можно определить по особенностям преобразования более крупных чешуек ниже по разрезу. Гидратация биотита привела к формированию веерообразных агрегатов с пониженной интерференционной окраской и практически полным отсутствием плеохроизма, сами чешуйки сильно обесцветились. В пространстве между волокнами сформировались тонкие иголки рутила и зернышки титанистых минералов. Гидратированный биотит частично или полностью замещился хлоритом или пелитоморфными агрегатами сидерита. Это замещение происходило постепенно, и в шлифах можно наблюдать стадийность всех этапов. В результате вышеописанных преобразований в прослоях, обогащенных биотитом, в поровом пространстве сформировался сложный гидрослюдисто-хлорит-сидеритовый цемент.

Органическое вещество встречается в виде удлиненных выделений, тонких прослоев, сгустков и примазок по зернам. Цвет варьирует от желтоватобуровато-красного до черного. Обособления органики, как правило, полупрозрачные, непрозрачные черные обломки углефицированного детрита часто пиритизированы. Нефтяное вещество бурого цвета пропитывает глинистый цемент, подчеркивая микропористое строение каолинита.

Цемент в песчаниках распределен неравномерно, по типу наиболее распространен поровый и пленочный, по составу – гидрослюдисто-хлорит-каолиновый. Реже проявляется коррозионный базальный и коррозионный поровый карбонатный цемент с пятнистым и полосчатым распределением.

В исследуемых породах отмечается взаимосвязь между преобладающим минералом в цементирующей части песчаников и составом обломков. В цементе кварцевых граувакк из дорожковской, долганской и нижнехетской свит преобладает хлорит.

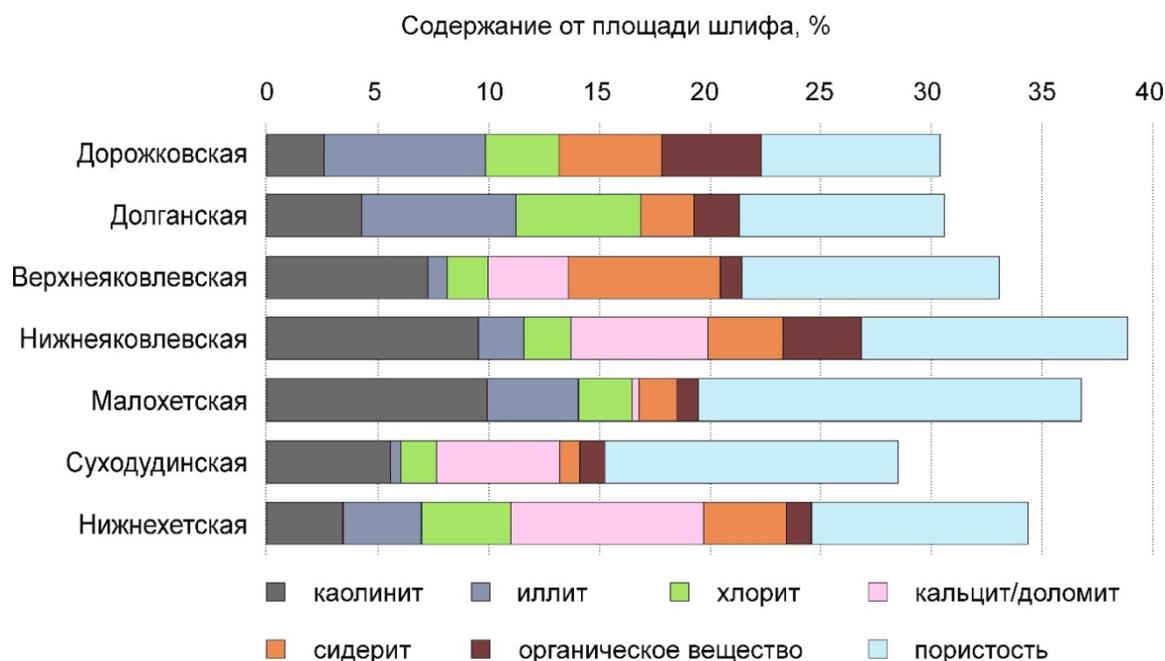


Рис. 6. Среднее содержание цемента, органического вещества и пор, % от площади шлифа
 Слева указаны свиты, из которых были отобраны образцы для подсчета усредненных значений по продуктивным пластам

Fig. 6. The average cementation material, organic matter and pores percentage by thin sections data
 On the left are the oil-bearing layers suite's names

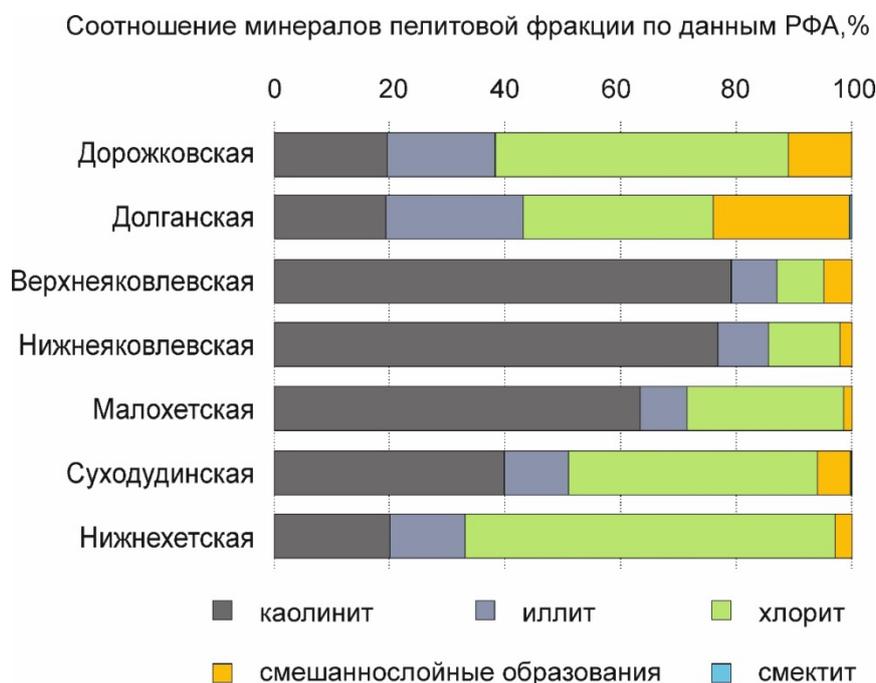


Рис. 7. Среднее соотношение минералов пелитовой фракции, по данным РФА, для песчаников Лодочного месторождения по свитам

Fig. 7. The clay fraction mineral average percentage according to the XRD data for the productive layers by suites

В аркозах яковлевской и малохетской свит интенсивнее происходило формирование каолинитового цемента. Это связано с тем, что кварцевые граувакки изначально содержали в себе больше обломков вулканитов основного состава, по которым впоследствии

и шло формирование хлорита. В аркозах же было выше содержание полевых шпатов, за счет растворения которых активно образовывался каолинит. Наиболее развит поровый каолинитовый цемент в породах яковлевской, суходудинской и малохетской

свит, среднее содержание которого в последней достигает 9,9 % при минимальном значении 2,6 % в песчаниках дорожковской свиты (см. рис. 6, 7).

Каолинит в изучаемых разрезах выделяется, по крайней мере, двух генетических типов. Первый имеет преимущественно низкую степень кристалличности или мелкочешуйчатое строение с беспорядочной ориентировкой чешуек, низким двупреломлением и агрегатным погасанием. Каолинит данного типа связан генетически с глинистым неразделенным цементом и гидрослюдами, по которым развивается и образует пленочный и поровый цемент. Для второго типа каолинита характерна более упорядоченная структура, микроагрегатное строение и более высокая степень раскристаллизации (см. рис. 5, e). Структура такого каолинита более совершенная по сравнению с каолинитом первого типа. Новообразованные кристаллы каолинита в седиментационном цементе освобождают часть порового пространства, создавая благоприятные условия для образования внутрицементной микропористости.

Пленочно-поровые иллитовый и хлоритовый типы цемента преобладают в песчаниках дорожковской, долганской и нижнехетской свит, где фиксируются наиболее высокие их содержания (рис. 6, 7).

Хлорит чешуйчатого строения имеет аллотигенный характер, пленочный хлоритовый цемент – аутигенный. Ведущую роль в его формировании, как было отмечено выше, сыграли хлоритизированные обломки пород и биотит. Формирование хлоритового цемента, вероятно, происходило постепенно, начиная с диагенеза и заканчивая этапами катагенетического преобразования пород, и привело к уменьшению их пустотного пространства.

В составе карбонатных минералов преобладают **сидерит и кальцит**, в единичных зернах отмечается доломит. **Железистый карбонат** формирует конкреции – от долей миллиметров (рис. 5, f) и до 10 см в диаметре в керне, либо локально замещает практически полностью глинистые прослои. В шлифах нередко отмечаются сферолиты сидерита, обогащенные в своей центральной части органическим веществом или гидроокислами железа. Наиболее высокое его содержание (24,3 %) отмечено в песчаниках верхнеяковлевской подсвиты.

Кальцит представлен в исследуемых породах микро-, мелкозернистыми агрегатами и хорошо раскристаллизованными зернами в поровом пространстве. Мелкозернистые разности слагают цементы преимущественно коррозионно-порового и порового типов. Перекристаллизованный кальцит включает две генерации, свидетельствующие о его формировании в различные стадии. Диагенетический мелко- и среднезернистый кальцит с реликтами микрозернистых агрегатов и следами слабой коррозии обломочного материала развит незначительно и занимает

не более 15 % от площади шлифа. Эпигенетический неравномернозернистый кальцит является доминирующим. Для отдельных песчаных прослоев в изучаемых свитах характерно наличие порово-базального, участками базального типа цементации с интенсивной коррозией обломочного материала вплоть до полного замещения корродируемых зерен (рис. 5, g). Максимальное содержание перекристаллизованных зерен кальцита в отдельных шлифах достигает 40 %. Подобное развитие кальцита приводит к появлению практически или полностью непроницаемых участков пород. В некоторых прослоях яковлевской свиты, совместно с кальцитом, иногда встречаются ромбовидные зернышки доломита.

Выявленная неравномерность развития сидеритовых обособлений, заполнения пор и замещения обломочного материала и цемента песчаных пород кальцитом оказывает существенное влияние на их емкостные и фильтрационные свойства.

Пустотное пространство представлено в шлифах межзерновой и внутризерновой пористостью, а также микропористостью в каолинитовом цементе. Преимущественное развитие имеют изолированные и сообщающиеся межзерновые поры угловатой и заливообразной формы (рис. 5, h), в подчиненном количестве присутствуют внутризерновые поры, развитые вдоль плоскостей спайности и двойникования в частично растворенных зернах полевых шпатов. В участках шлифов с каолинитовым цементом фиксируется микропористость в межпакетных промежутках. В целом в изучаемых породах с послойным развитием глинистого материала, сидерита и захороненного органического вещества в распределении пор также отмечается часто послойный характер. В таких участках поры менее развиты, имеют меньшие размеры или могут полностью отсутствовать.

Условия формирования

Для уточнения геологического строения продуктивных пластов яковлевской, малохетской, сухудинской и нижнехетской свит на территории Пур-Тазовской нефтеносной зоны было проведено детальное послойное литологическое описание кернового материала из восьми скважин Лодочного месторождения общей протяженностью 2442,43 м. По результатам совместной интерпретации петрографического описания шлифов, гранулометрического анализа 576 образцов пород, морфологической и генетической типизации слоистости подобрана наиболее подходящая седиментационная модель, максимально точно описывающая условия формирования терригенных отложений изучаемых свит. Текстуальный и вещественный анализ песчаников каждой из четырех свит, изучение остатков флоры и фауны, а также комплекса аутигенных минералов позволили выбрать

внутри каждой из фаций условия осадконакопления, характерные для отдельных продуктивных пластов.

Установлено, что начавшийся в раннем мелу крупный регрессивный цикл на территории Лодочно-го месторождения фиксируется в постепенной смене фациальных обстановок с барьерного побережья в нижнехетской свите на дельту с речным влиянием в суходудинской, малохетской, яковлевской и низах долганской свиты (рис. 8).

Текстурные особенности (косоволнистая слоистость, часто однонаправленная, углефицированные прослои, отпечатки флоры, остатков корней и углефицированного растительного детрита) и вещественный состав песчаников яковлевской свиты указывают на максимальные осушение изучаемой территории с преобладанием аллювиальных обстановок

седиментации, связанных с реками меандрирующего типа [Черданцева и др., 2020].

Крупная трансгрессия в начале верхнего мела зафиксирована в резкой смене фаций внутри отложений долганской свиты с субаквальной дельтовой равнины на отложения переходной зоны пляжа.

Наиболее продуктивные пласты на месторождении сформированы в двух основных фациальных обстановках и представлены:

- средне- и мелкозернистыми, преимущественно хорошо сортированными песчаными отложениями гребня и склона вдольберегового вала (нижнехетская свита);
- мелко- и среднезернистыми среднесортированными песчаниками дельтовых распределительных каналов (малохетская, суходудинская и яковлевская свиты).



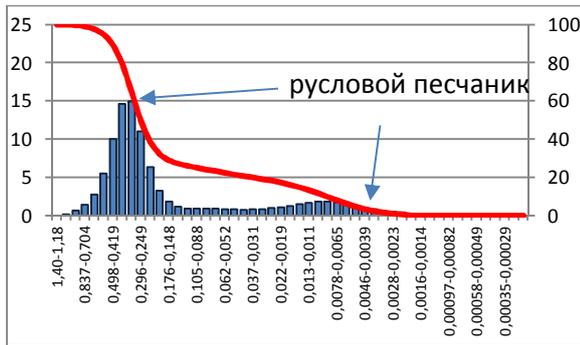
Рис. 8. Схема фациальных обстановок осадконакопления отложений меловых продуктивных песчаных пластов на территории Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения

Оранжевыми стрелками показано направление регрессивного этапа формирования отложений и смены фаций с баровых обстановок в нижнехетской свите к дельтовым и аллювиальным в яковлевской свите, голубые стрелки отражают постепенную трансгрессию от субаквальной дельтовой равнины к переходным отложениям пляжа в долганской и дорожковской свитах

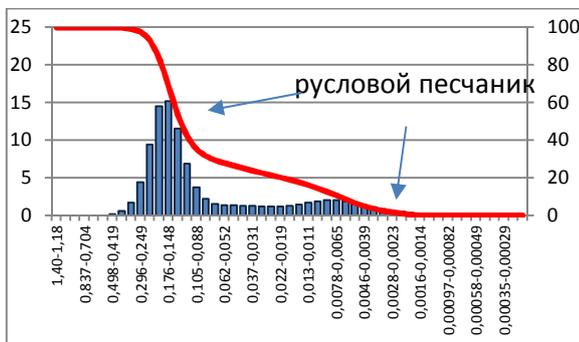
Fig. 8. Depositional environments scheme of Cretaceous productive sandy strata on the Lodochnoe oil and gas field territory

Orange arrows show the direction of the sediment formation regressive stage and the change of facies from bar environment in the Nizhnekhetskaya suite to deltaic and alluvial in the Yakovlevskaya suite; blue arrows reflect a gradual transgression during the transition from the subaquial deltaic plain to the transitional beach deposits in the Dolganskaya and Dorozhkovskaya suites

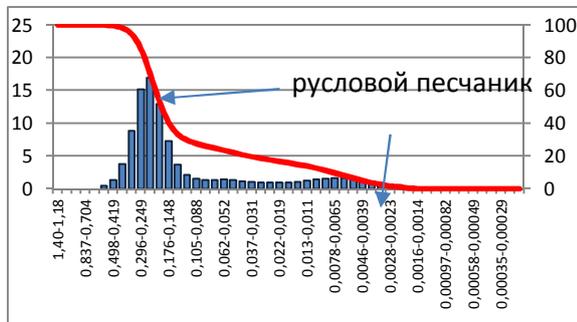
Данные по скважине № 445
Обр. №10269-18, пласт Як-I-II



Обр. № 10307-18, пласт Як-III-IV



Обр. № 10573-18, пласт Як-V



Данные по скважине № 112
Обр. №8546-18, пласт Нх-I



Обр. № 8551-18, пласт Нх-I



Обр. № 9950-18, пласт Нх-III-IV



Рис. 9. График распределения гранулометрических фракций и кумулятивные кривые накопления для отложений яковлевской и нижнехетской свит (скв. № 445 и 112)

Fig. 9. The particle size fraction distribution graph and cumulative accumulation curves of the Yakovlevskaya and Nizhnekhetskaya sandstone samples (wells № 445 and 112)

Большая часть наблюдаемых карбонизированных прослоев является результатом вторичного преобразования пород, поэтому карбонатность часто в отложениях «афациальна».

Для подтверждения выделенных фациальных обстановок на основе данных гранулометрического анализа песчаников были построены кривые кумулятивного накопления и графики распределения гранулометрических фракций (см. рис. 9).

На графиках слева отчетливо заметны два пика — основной и подчиненный в «глинистом хвосте». Подобная бимодальность распределения гранулометрического состава характерна для аллювиальных отложений и связана с динамикой среды осадконакопления [Гроссгейм и др., 1984]. В работе [Котельников, 1989, с. 22] показано, что транспортировка обломочного материала в однонаправленном потоке осуществляется различными способами: во взвеси, саль-

тацией, скольжением и качением, но «распределение 2-вершинное может отвечать только сальтации и взвеси». По-видимому, максимальный пик на графиках соответствует обломкам, переносимым сальтацией, в то время как второстепенный пик на диаграмме – частичкам (примесь глинистого материала), перенос которых перед осаждением происходил из взвеси. В свою очередь, для гранулометрических диаграмм баровых песчаников типично одновершинное и, в целом, относительно симметричное распределение осадков. Самое главное, фиксируется резкий дефицит частиц размером менее 0,1 мм, что является общим и наиболее характерным признаком прибрежно-морских песков.

Отложения верхней части долганской и дорожковской свиты, изученные по данным кернового материала, по-видимому, малопродуктивны и требуют дополнительного исследования.

Результаты и обсуждение

Петрографический анализ шлифов песчаных пород позволил установить основные процессы преобразований изучаемых пород-коллекторов, которые влияют на пористость и проницаемость песчаников. К таким процессам следует отнести механическое уплотнение, цементацию, растворение каркасных зерен и цемента.

Механическое уплотнение пород (растворение под давлением), возрастая по мере погружения осадка в условиях активно опускающегося осадочного бассейна, должно было привести к возникновению различных тангенциальных, конформных и инкорпорационных типов контактов зерен. В изученных шлифах подобные контакты развиты незначительно, что указывает на слабую до умеренной степень уплотнения пород или на процессы их вторичного разуплотнения. Можно было бы предположить, что активная тектоника района привела к захоронению песчаников в относительно рыхлом состоянии, так как в керне отмечается довольно слабое уплотнение пород. Однако наличие фрагментов реликтовых конформно-инкорпорационных и регенерационных контактов обломочного материала в шлифах, особенно в участках, где ранее плотно прилегающие друг к другу зерна теперь разобщены, с сохранением их контуров в местах общих контактов, может указывать на вторичное разуплотнение пород, связанное с явлением регрессивного эпигенеза вследствие повторного поднятия ранее захороненных блоков с осадочными пластами. Схема преобразований пород Лодочного месторождения, по данным изучения шлифов, представлена на рис. 10.

Наиболее часто поровое пространство нефтеносных песчаных пластов заполнено каолиновым цементом. Формирование его частично связано с перекристаллизацией первичного глинисто-гидро-

слюдистого агрегата пор, частично является результатом замещения хлорита и калиевых полевых шпатов. Образование аутигенного каолинита требует кислой среды, которая могла сформироваться, например, за счет циркуляции в песчаниках растворов с пониженными значениями pH [Клубова, 1973]. Учитывая тот факт, что в породах были отмечены следы процессов регрессивного эпигенеза, связанного с нахождением Лодочного месторождения в зоне влияния Худосейской грабен-рифтовой системы, можно предположить, что появление разрывных нарушений на территории месторождения в результате тектонических подвижек привело к формированию отдельных блоков, которые, в свою очередь, испытывали разнонаправленные движения погружения и инверсионного воздымания. Это, по-видимому, способствовало постепенной фильтрации по трещинам кислых, вступавших в контакт с нефтяными залежами, чужеродных по химизму вод, которые активизировали процессы растворения полевых шпатов и вторичной децементации песчаных пластов. В образовавшейся в межпоровом пространстве благоприятной среде началось формирование агрегатов аутигенного каолинита, что фиксировалось и в работах других исследователей [Япаскурт, 2016].

При перекристаллизации и замещении каолинит формировал пакетобразные агрегаты, заполняющие поры и пустоты. Крупные каолиновые пакеты в поровом пространстве располагались под различными углами друг к другу, что приводило к образованию вторичных пустот – межпакетных пор, в которых способно накапливаться нефтяное вещество [Гроссгейм и др., 1984]. Описанные регрессивные эпигенетические изменения в песчаных пластах сыграли важную роль в улучшении коллекторских свойств песчаников Лодочного месторождения.

На следующем этапе регрессивного эпигенеза вслед за коррозией пород из водных растворов происходило выделение углекислого газа с его последующей миграцией по трещинам. Механизм формирования карбонатных цементов осаждением карбонатов из пластовых вод при эпигенезе подробно описан [Перозио, 1971] и в работе это не рассматривается. Однако отметим, что, вероятнее всего, это стало основной причиной активной фрагментарной вторичной карбонатизации отложений по всему изученному разрезу пород независимо от их фациальной принадлежности.

Участки развития карбонатов характеризуются снижением фильтрационно-емкостных свойств пород [Страхов и др., 1959; Япаскурт, 2018]. Ученые отмечали, что карбонаты легче других минералов поддаются процессам коррозии вплоть до полного их растворения, а затем новой кристаллизации, регенерации, изоморфным замещениям и прочим преоб-

разованиям, которые побуждаются малейшими изменениями концентраций растворенной углекислоты

или изменениями других химических свойств межзерновых водных растворов.



Рис. 10. Схема, отражающая процессы формирования песчаных коллекторов на Лодочном месторождении

Fig. 10. Scheme of sandstone reservoirs formation process in the Lodochnoe deposit

Заключение

По всей вероятности, на песчаные породы яковлевской, малохетской, суходудинской и нижнехетской свит воздействовали воды с пониженным значением pH, насыщенные углекислотой и углеводородами. За счет их воздействия в породах происходила интенсивная коррозия терригенных и аутигенных минералов с возникновением зон вторично разуплотненных песчаников.

Таким образом, на Лодочном месторождении нарушение физико-химической наследственности пород тесно связано с нестабильностью тектонической обстановки в пределах изучаемой территории, приведшей к резким изменениям инфильтрационных

режимов подземных вод. Изменение химического равновесия в породах способствовало формированию новых наложенных низкотемпературных минеральных новообразований и частичному замещению более ранних парагенезисов, сформированных во время предшествующих погружений на этапе диа- и катагенетического преобразования осадочных отложений.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам лаборатории физики пласта и лаборатории седиментологии АО «ТомскНИПИнефть» за ценные комментарии и аналитический материал, предоставленный для работы, а также рецензентов журнала за рекомендации, позволившие улучшить качество научной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Гроссгейм В.А., Бескровная О.В., Геращенко И.Л. и др. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л. : Недра, 1984. 271 с.

- Житков В.Г., Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Кринин В.А.** Новые данные по структуре района Ванкорского газонефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 4. С. 44–54.
- Квачко С.К.** Литолого-фациальный анализ нижнемеловых отложений Ванкорского газонефтяного месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 338. С. 223–226.
- Кириухин Л.Г., Кулехина Е.А., Хакимов М.Ю.** Геологическое строение и нефтегазоносность Большехетского вала // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2011. № 1. С. 115–119.
- Конторович В.А.** Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 8. С. 1027–1050.
- Клубова Т.Т.** Глинистые минералы и их роль в генезисе, миграции и аккумуляции нефти. М.: Недра, 1973. 256 с.
- Кринин В.А.** Тектоника фундамента и оценка ресурсов нефти юрско-меловых отложений северо-востока Западно-Сибирской плиты в пределах Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т. 4. С. 399–409.
- Кринин В.А., Косенкова Н.Н., Лопатин Н.В., Малышев Н.А.** Нефтегазовые генерационно-аккумуляционные системы Ванкорского месторождения, Красноярский край // Международная конференция и выставка «Науки о Земле – Найти и извлечь». СПб., 2006.
- Копелиович А.В.** Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М.: Наука, 1965. 310 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 121.)
- Котельников Б.Н.** Реконструкция генезиса песков: Гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения / под ред. В.Н. Шванова. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. 132 с.
- Логвиненко Н.В.** Постдиагенетические изменения осадочных пород. М.: Наука, 1968. 92 с.
- Орлов В.П.** Новые центры сырьевого обеспечения экономического роста на период до 2030 года // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 3. С. 2–4.
- Перозин Г.Н.** Эпигенез терригенных осадочных пород Западно-Сибирской низменности. М.: Недра, 1971. 160 с.
- Поляков А.А., Кринин В.А., Жемчугова Т.А.** Влияние ложных флюидоупоров на нефтегазоносность нижнемеловых резервуаров Большехетской террасы // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». 4. 2001. Вып. 25. С. 15–19.
- Розбаева Г.Л.** Детальная литолого-фациальная модель отложений нижнехетской свиты в Сузунском НГР (Западная Сибирь): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень, 2014. 145 с.
- Симанович И.М.** Кварц песчаных пород. М.: Наука. 1978. 152 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 314.)
- Страхов Н.М., Залмансон Э.С., Глаголева М.А.** Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа (опыт фациально-геохимического исследования). М.: Изд-во АН СССР, 1959. 223 с.
- Титов Ю.В., Шайхутдинова Г.Х., Астаркин С.В., Колпаков В.В., Кожевникова Н.В.** Постседиментационные преобразования нижнемеловых отложений Большехетской впадины (Западная Сибирь) // Литосфера. 2019. Т. 19, № 1. С. 48–58.
- Фокин П.А., Демидова В.Р., Яценко В.М., Ставинский П.В., Лисунова О.В.** Состав и условия образования продуктивных толщ нижнехетской и яковлевской свит нижнего мела Ванкорского нефтегазового месторождения (северо-восток Западной Сибири) // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2008. № 5. С. 12–18.
- Фомин М.А.** Тектонические предпосылки нефтегазоносности юрско-меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 11. С. 14–25.
- Черданцева Д.А., Кравченко Г.Г., Краснощекова Л.А.** Условия формирования песчаных пластов-коллекторов яковлевской свиты на территории Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 10. С. 115–127.
- Шванов В.Н.** Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.
- Япаскурт О.В.** Предметаморфические изменения осадочных пород в стратифере: процессы и факторы: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2018. 259 с.
- Япаскурт О.В.** Стадиальный анализ минеральных свидетелей динамики процессов формирования и эволюции вещества осадочных пород – перспективное научное направление литологии и нефтегазовой геологии // Георесурсы. 2016. Т. 18, № 1. С. 64–68.

Авторы:

Черданцева Дарья Андреевна, старший научный сотрудник, лаборатория седиментологии, управление лабораторными исследованиями ядра, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия.

E-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru

Краснощекова Любовь Афанасьевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия.

E-mail: krasnl@tpu.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 44–59. DOI: 10.17223/25421379/19/4

D.A. Cherdantseva¹, L.A. Krasnoshchekova²

¹*Tomsk Oil and Gas Research and Design Institute, Tomsk, Russia*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

**MATERIAL COMPOSITION AND FORMATION CONDITIONS OF PRODUCTIVE SANDSTOONS
OF THE PUR-TAZOV OIL AND GAS-BEING REGION (ON THE EXAMPLE
OF LODOCHNOE FIELD, KRASNOYARSKY KRAI)**

The article presents the results of the Lower Cretaceous sandstones lithological-facies analysis in the Lodochnoe oil and gas field. Petrographic analysis established the relationship between the composition of the sandstones detrital part and the epigenetic transformation features, made it possible to identify the main processes that affect the filtration-capacity properties. Particle size analysis by

laser light diffraction and sedimentological analysis made it possible to clarify the formation conditions of productive sandstone layers in the field. Core material laboratory studies allow a better field structure understanding and answer a number of questions related to the features deposit formation. This paper presents the results of the sandstones material composition and post-sedimentary transformations study in the Lodochnoe oil-bearing reservoirs by the thin sections petrographic analysis using clay part rocks X-ray phase studies data. The article presents the main lithological characteristics of oil-bearing sandstones from Nizhnekhetskaya, Sukhodudinskaya, Malokhetskaya, Yakovlevskaya, Dolganskaya and Dorozhkovskaya suites. It was found that most of the studied productive layers are composed of quartz greywackes, arkoses and mesomictic sandstone varieties. The authors determined the interrelation between the features of the epigenetic sandstones transformation and the detrital part material composition. This interrelation manifested itself in the active kaolinitization of mesomictic and arkose sandstones, and quartz greywackes predominant secondary chloritization. As a result, the main processes that influenced the sandstone reservoir properties were established: there are deconsolidation, kaolinitization and carbonatization. The presence of these processes indicates a regressive-epigenetic transformation of terrigenous deposits due to the study area high tectonic activity. Conclusions were drawn about the positive effect of deconsolidation and mass kaolinitization on the studied sandstones reservoir properties, and that superimposed carbonatization contributed to the formation of some impermeable layers.

Keywords: *material composition, sandstone, diagenesis, catagenesis, oil and gas condensate field, Lower Cretaceous deposits*

References

- Grossheim V.A., Beskrovnaya O.V., Gerashchenko I.L. et al. *Metody paleogeograficheskikh rekonstruktsiy (pri poiskakh zalezhey nefii i gaza)* [Methods of paleogeographic reconstructions (in the search for oil and gas deposits)]. Leningrad: Nedra. 1984, 271 p. In Russian
- Zhitkov V.G., Potseluev A.A., Ananiev Yu.S., Krinin V.A. New data for structural position of Vankor oil&gas deposit and surrounding area // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016. V. 327. 4. 44–54. In Russian
- Kvachko S.K. *Litologo-fatsial'nyy analiz nizhnelovoykh otlozheniy Vankorskogo gazoneftyanogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir')* [Lithofacies analysis of the Lower Cretaceous deposits of the Vankorskoye oil-and-gas field (Western Siberia)] // Tomsk State University Journal. 2010. No 338. pp. 223–226. In Russian
- Kiryukhin L.G., Kulekhina E.A., Khakimov M.Yu. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' Bol'shekhetskogo vala* [Geological structure and oil and gas content of the Bolshekhetsky swell] // RUDN Journal of Engineering Researches. 2011. No 1. pp. 115–119. In Russian
- Kontorovich V.A. The tectonic framework and petroleum prospects of the Western Yenisei-Khatanga regional trough // Geology and Geophysics, 2011. V. 52. No 8. pp. 808–824.
- Klubova T.T. *Glinistye mineraly i ikh rol' v genezise, migratsii i akkumulyatsii nefii* [Clay minerals and their role in the genesis, migration and accumulation of oil]. Moscow: Nedra, 1973. 256 p. In Russian
- Krinin V.A. Basement tectonics and oil resources estimation referred to jurassic-cretaceous deposits of Northern-Eastern part of West-Siberian Plate with in Krasnoyarsk Region // Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology 2011. V. 4. pp. 399–409. In Russian
- Krinin V.A., Kosenkova N.N., Lopatin N.V., Malyshev N.A. *Neftegazovye generatsionno-akkumulyatsionnye sistemy Vankorskogo mestorozhdeniya, Krasnoyarskiy kray* [Oil and gas generation and accumulation systems of the Vankor field, Krasnoyarsk Territory] // International Conference and Exhibition "Earth Sciences - Find and Extract". St. Petersburg, 2006. In Russian
- Kopeliovich A.V. *Epigenez drevnikh tolshch yugo-zapada Russkoy platformy* [Epigenesis of ancient strata of the southwest of the Russian platform]. Moscow: Nauka, 1965. 310 p. (Tr. GIN AN SSSR; Issue 121). In Russian
- Kotelnikov B.N. *Rekonstruktsiya genezisa peskov: Granulometricheskii sostav i analiz empiricheskikh poligonov raspredeleniya* [Reconstruction of the genesis of sands: Granulometric composition and analysis of empirical distribution areas] / Under. Ed. V.N. Shvanov. Leningrad: Publishing house of the Leningrad University. 1989. 132 p. In Russian
- Logvinenko N.V. *Postdiageneticheskie izmeneniya osadochnykh porod* [Postdiagenetic changes in sedimentary rocks]. Moscow: Nauka, 1968. 92 p. In Russian
- Orlov V.P. *Novye tsentry syr'evogo obespecheniya ekonomicheskogo rosta na period do 2030 goda* [New centers of raw materials provision of economic growth for the period up to 2030] // Russia mineral resources. Economics and Management. 2009. No 3. pp. 2–4. In Russian
- Perosio G.N. *Epigenez terrigenykh osadochnykh porod Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Epigenesis of terrigenous sedimentary rocks of the West Siberian Lowland]. Moscow: Nedra. 1971. 160 p. In Russian
- Polyakov A.A., Krinin V.A., Zhemchugova T.A. The influence of false seals on the oil-and-gas content of Bolshekhets terrace Upper Cretaceous reservoirs // Scientific and technical bulletin of OAO NK ROSNEFT. 4. 2001. Iss. 25. pp. 15–19. In Russian
- Rozbaeva G.L. *Detal'naya litologo-fatsial'naya model' otlozheniy nizhnekhetskoy svity v Suzunskom NGR (Zapadnaya Sibir')* [Detailed lithological-facies model of deposits of the Nizhnekhetskaya suite in the Suzunsky oil and gas district (Western Siberia)]: dissertation for the degree of Cand. g-mn, Tyumen, 2014. 145 p. In Russian
- Simanovich I.M. *Kvarts peschanykh porod* [Quartz of sandy rocks]. Moscow: Science. 1978. 152 p. (Tr. GIN AN SSSR; Iss. 314). In Russian
- Strakhov N.M., Zalmanson E.S., Glagoleva M.A. *Ocherki geokhimii verkhnepaleozoyskikh otlozheniy gumidnogo tipa (opyt fatsial'no-geokhimicheskogo issledovaniya)* [Essays on the geochemistry of the Upper Paleozoic humid-type deposits (experience of facies-geochemical research)]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1959. 223 p. In Russian
- Titov Yu.V., Shaikhutdinova G.K., Astarkina S.V., Kolpakov V.V., Kozhevnikova N.V. Manifestations of post-sedimentation processes in the Lower Cretaceous sediments of Bolshekhetskaya depression (Western Siberia) // Lithosphere (Russia). 2019, V. 19, No 1, pp. 48–58. In Russian
- Fokin P.A., Demidova V.R., Yatsenko V.M., Stavinsky P.V., Lisunova O.V. *Postsedimentatsionnye preobrazovaniya nizhnelovoykh otlozheniy Bol'shekhetskoy vpadiny (Zapadnaya Sibir')* [Composition and conditions of formation of productive strata of the Nizhnekhetskaya and Yakovlevskaya formations of the Lower Cretaceous of the Vankor oil and gas field (north-east of Western Siberia)] // Bulletin of Moscow University. Ser. 4. Geology. 2008. No 5, pp. 12–18. In Russian
- Fomin M.A. *Tektonicheskie predposylki neftegazonosnosti yursko-melovykh otlozheniy Enisey-Khatangskogo regional'nogo progiba* [Tectonic prerequisites for the oil and gas content of the Jurassic-Cretaceous deposits of the Yenisei-Khatanga regional trough] // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2014. No 11. pp. 14–25. In Russian

Cherdantseva D.A., Kravchenko G.G., Krasnoshchekova L.A. *Usloviya formirovaniya peschanykh plastov-kollektorov yakovlevskoy svity na territorii Lodochnogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya* [The Yakovlevskaya suite oil-bearing sandstone formation conditions in the Lodochnoe oil field] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2020. T. 331. No 10. pp. 115–127. In Russian

Shvanov V.N. *Petrografiya peschanykh porod (komponentnyy sostav, sistematika i opisanie mineral'nykh vidov)* [Petrography of sandy rocks (composition, taxonomy and description of mineral species)]. Leningrad: Nedra. 1987. 269 p. In Russian

Yapaskurt O.V. *Predmetamorficheskie izmeneniya osadochnykh porod v stratisfere: protsessy i faktory* [Before metamorphic processes in sedimentary rocks in the stratisphere: processes and factors]: tutorial. Moscow: INFA-M. 2018. 259 p. In Russian

Yapaskurt O.V. Stage Analysis of Minerals that Witnessed Formation and Evolution Dynamics of Sedimentary Rocks – Perspective Scientific Direction of Lithology and Geology of Oil and Gas // Georesources. 2016. V. 18. No 1. 2016. pp. 64–68. In Russian

Author's:

Cherdantseva Daria A., Senior Researcher, Laboratory of sedimentology, Laboratory core analysis management, Tomsk Oil and Gas Research and Design Institute, Tomsk, Russia.

E-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru

Krasnoshchekova Lyubov A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Associate Professor, Department for Geology, School of Earth Sciences and Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

E-mail: krasnl@tpu.ru