

СВЯЗЬ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ И ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ВЕРХНЕГО ДЕВОНА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Р. Р. Нуриахметов^{*},¹ , Е. Т. Казимиров¹ , Н. А. Лыков^{1,2} ¹РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина²Геологический институт РАН^{*} **Контакт:** Рузиль Рафикович Нуриахметов, nuriahmetov25@gmail.com

В работе приведены результаты структурно-текстурной характеристики неоднородных, сложнопостроенных микробиально-водорослевых пород-коллекторов и их сопоставление с результатами петрофизических исследований. Выделены основные типы текстур и структур, встречающиеся в породах. Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород, как правило, характеризуются стандартными петрофизическими цилиндрами локально, по преобладающей в них структуре. В работе показана литолого-петрофизическая характеристика основных структур исследуемых пород и предложены варианты учета влияния макро- и микротекстур при определении ФЕС и характера фильтрации в горных породах.

Ключевые слова: карбонатные породы-коллекторы, Девон, Тимано-Печора, фильтрационно-емкостные свойства.

Цитирование: Нуриахметов, Р. Р., Е. Т. Казимиров, Н. А. Лыков Связь фильтрационно-емкостных свойств и текстурных особенностей карбонатных пород-коллекторов верхнего девона Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES4001. — DOI: 10.2205/2025es001034 — EDN: WINBFY

Введение

К карбонатным осадочным породам приурочено от 35 до 48% мировых запасов нефти и порядка 23–28% газа [Кузнецов, 2018]. При этом добыча углеводородов из карбонатных отложений, зачастую, является трудоемкой задачей. Причиной этого служит их сложное неоднородное строение, связанное с биогенным генезисом [Фролов, 1993], в частности микробиальным. Что, в свою очередь, приводит к невозможности достоверного прогноза распределения их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), а значит к ошибочному прогнозу добычи углеводородов.

Первично ФЕС породы закладываются на стадии седиментогенеза и раннего диagenеза. В дальнейшем, на последующих стадиях литогенеза, ФЕС могут меняться как в лучшую, так и в худшую сторону в зависимости от многочисленных условий среды и процессов, влияющих на строение породы. Например, выщелачивание и кавернообразование приводят к улучшению ФЕС породы, а процессы вторичного минералообразования, в зависимости от свойств аутигенного минерала, могут как улучшить, так и ухудшить ФЕС. Теме изучения ФЕС карбонатных пород, в том числе изучения влияния постседиментационных преобразований на ФЕС пород, посвящены многочисленные работы [Багринцева, 1999; Жемчугова, 2002; Киржинская и Сметов, 1981; Постникова и др., 2012; Тугарова, 2020]. Однако на сегодняшний день, факторы, влияющие на формирование первичного пустотного пространства микробиальных карбонатных пород, рассмотрены ограничено [Казимиров и др., 2023; Мусихин и др., 2012; Постников и др., 2022; Постникова и др., 2021]. Последнее связано со сложностью их

<https://elibrary.ru/WINBFY>

Получено: 20 марта 2025 г.

Принято: 11 июня 2025 г.

Опубликовано: 20 июня 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

типизации, так как микробиальные сообщества часто вступают в биоценозы с другими организмами, что в последствии приводит к усложнению строения породы-коллектора.

Целью настоящего исследования является литолого-петрофизическая характеристика карбонатных пород микробиального (микробиально-водорослевого) происхождения, направленная на: выявление первичных текстурных и структурных особенностей, определивших формирование ФЕС пород-коллекторов; установление связи ФЕС с микро- и макротекстурами.

Объект и методики исследования

Исследуемые объекты относятся к елецкому горизонту фаменского яруса Верхнего девона Тимано-Печорской нефтьнегазоносной провинции. Тектонически объекты приурочены к Садаггинской ступени Хорейверской впадины. Отложения формировались в условиях забарьерной мелководно-шельфовой обстановки осадконакопления на участках развития изолированных органогенных построек [Осинцева, 2013; Пармузина, 2007].

Для карбонатных отложений биотический фактор проявляется в формировании двух принципиально разных компонентов породы: каркасных и некаркасных элементов. Под каркасными элементами понимаются обызвествленные несkeletalные водорослево-микробиальные колонии, которые в ходе своей жизнедеятельности прикреплялись к субстрату и улавливали форменные компоненты, становясь ловушками для них [Казимиров и др., 2023; Постникова и др., 2021; Pratt, 1982; Turner et al., 2000]. Некаркасные элементы представлены форменными (граноморфными) компонентами кальцитового состава, которые преимущественно выполняют межкаркасное пространство пород. Среди форменных компонентов преобладают комки и сгустки, сложенные микритом, в меньшей степени встречаются перекристаллизованные фрагменты талломов зеленых водорослей, кальцисферы и раковинный детрит брахиопод, гастропод, криноидей. Под комками понимаются форменные компоненты округлой или овальной продолговатой формы, сложенные микрозернистым кальцитом (микритом) [Фортунова и др., 2005]. Под сгустками понимаются компоненты неопределенной, расплывчатой формы, состоящие нередко из нескольких «слипшихся» комков, сложенных микрозернистым кальцитом [Фортунова и др., 2005].

Для достижения цели исследования проводилась типизация пород-коллекторов по текстурным и структурным признакам. При литологической типизации карбонатных пород использовались как отечественные [Кузнецов, 2018; Фролов, 1993], так и зарубежные [Dunham, 1962] классификации.

Текстура породы может зависеть от взаимосочетания каркасных форм роста и характера выполнения межкаркасного пространства привнесенным граноморфным материалом. В настоящей работе различаются макротекстура (текстура образца породы) и микротекстура (наблюдаемая в шлифе) (рис. 1). При описании пустотного пространства под микропористостью понимаются участки пород с развитием пустот размером менее 0,01 мм.

Первично порода изучалась макроскопически посредством анализа фотографий полноразмерного керна в дневном и ультрафиолетовом свете. В исследовании было рассмотрено 60 метров керна, отобрано 68 образцов, из которых было изготовлено 65 покрашенных петрографических шлифов (50×25 мм). Для определения структуры и компонентного состава пород были выполнены оптико-петрографические исследования образцов, намеченных при макроскопическом описании (рис. 2).

На изученном интервале отобрано 165 петрофизических цилиндров стандартного размера (30×30 мм). На всех цилиндрах стандартного размера были замерены пористость и проницаемость по газу, на 57 цилиндрах проведены исследования по капилляриметрии, на которых было определено процентное содержание поровых каналов разных размеров.

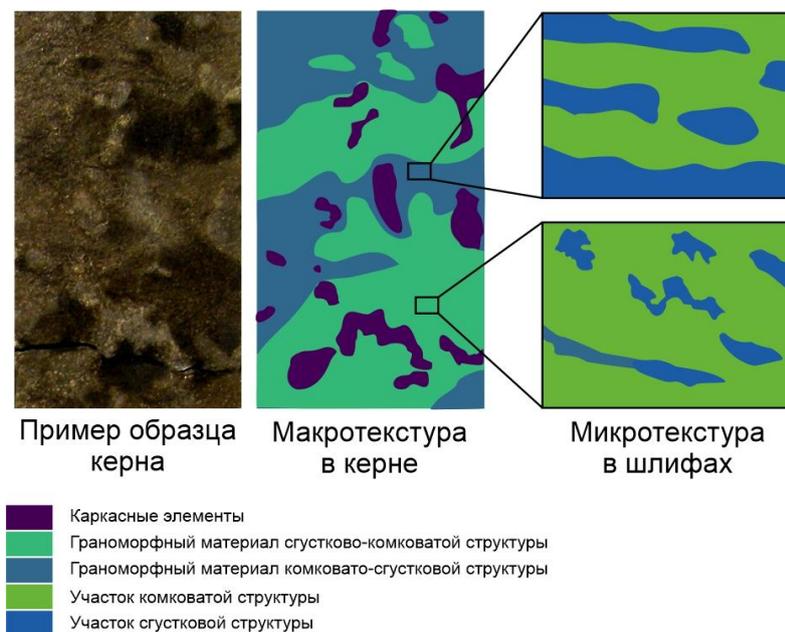


Рис. 1. Схема выделения макро- и микротекстур.



Рис. 2. Пример последовательности проведения исследования.

Результаты исследования

По результатам макроанализа и исследований в шлифах выделены известняки биогермные (водорослево-микробиальные) и граноморфные. Для биогермных пород выделено пять типовых макротекстур: пятнистая, слоисто-пятнистая, слоистая, пятнисто-петельчатая, петельчатая (рис. 3).

В породе с пятнистой макротекстурой (рис. 3А) каркасные компоненты расположены в виде изометричных или немного вытянутых, разнонаправленных серых «пятен». Они имеют размер от 0,5 до 4 см (в среднем 1–2 см) и занимают не более 15% относительного пространства породы. В породе с слоисто-пятнистой текстурой (рис. 3В) каркасные элементы могут иметь вытянутую форму, ориентированную по

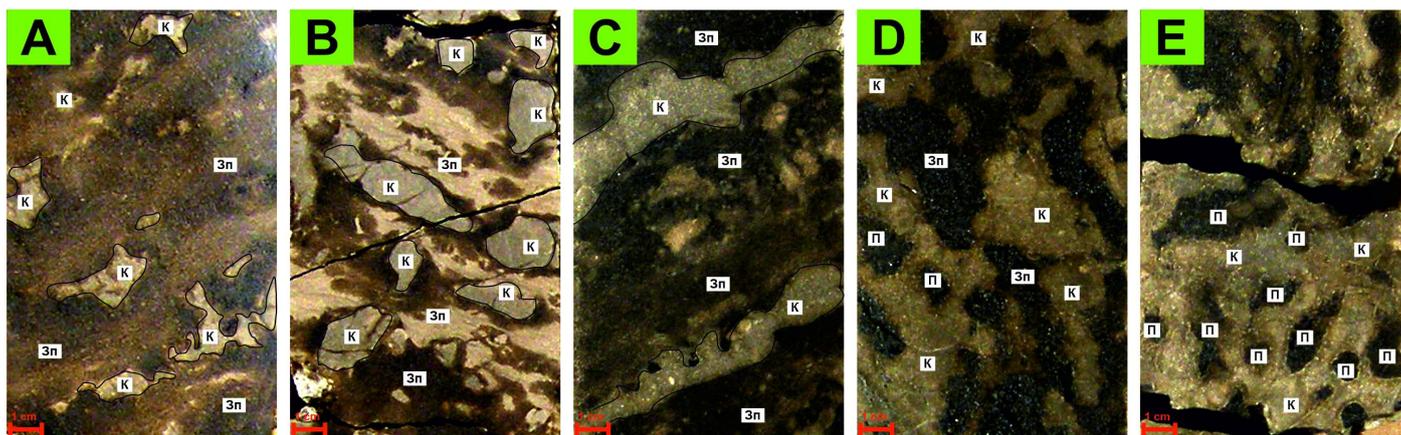


Рис. 3. Типизация макротекстур с каркасными элементами. Фотографии керн в дневном свете: А – пятнистая текстура; В – слоисто-пятнистая текстура; С – слоистая текстура; D – пятнисто-пчельчатая текстура; Е – пчельчатая текстура; К – каркас; Зп – межкаркасный наполнитель; П – «петли» заполненные межкаркасным наполнителем.

наслоению, размеры изменяются от 1 до 5 см, они занимают в среднем от 15–20% относительного объема породы, иногда доходя до 25%.

Для пород со слоистой макротекстурой (рис. 3С) элементы преобразуются в слойки шириной в 8–10 см и более (слойки часто характеризуются выдержанностью в пределах керн). Они в среднем имеют толщину 1 см и составляют от 10 до 20% относительного пространства.

В породах с пятнисто-пчельчатой макротекстурой (рис. 3D) часть каркасных элементов срастаются между собой с образованием крупных округлых извилистых внутренних полостей, заполненных межкаркасным наполнителем, представленным граноморфным материалом. Эти полости напоминают «петли». Для пород с этой текстурой относительное процентное содержание каркасных элементов может составлять от 25 до 50%, со средним значением в диапазоне от 30 до 40%.

В случае, если все каркасные компоненты срослись между собой так, что весь межкаркасный наполнитель приурочен к «петлям», образуется пчельчатая макротекстура (рис. 3Е). Как правило, в такой текстуре каркасные элементы занимают больше 50% относительного объема породы.

Среди текстур пород с преобладанием в составе некаркасных (форменных) компонентов выделяются три типа макротекстур: линзовидно-слоистая, слоистая и массивная (если текстура не распознается) (рис. 4). Слоистость обусловлена чередованием слойков разного цвета, что связано с тем, что слойки с комковатой структурой обладают большей степенью нефтенасыщенности, чем слойки со сгустковой.

В породах с линзовидно-слоистой макротекстурой (рис. 4А) границы слойков неровные, часто волнистые. Толщины слойков в среднем составляет 0,7–1,4 см. Длина линз – 2–4 см, толщина до 3 см. В свою очередь, в породах со слоистой текстурой (рис. 4В) слойки характеризуются выдержанностью в пределах керн. Границы ровные, часто спрямленные с отсутствием линз. Толщина слойков от 1 до 5 см со средним значением в 1,0–1,5 см. Массивная макротекстура (рис. 4С) наблюдается для пород, текстуры которых почти не различимы – редко в отдельных слойках может наблюдаться плохо различимая неясно-слоистая текстура.

Результаты оптико-петрографических исследований

В ходе изучения образцов оптико-петрографическим методом с учетом макроописания керн проведена литотипизация пород по структурно-минералогическим особенностям, характерных для каждого типа, выделенных ранее макротекстур. Всего выделено четыре литотипа: два, отвечающих породам с преобладанием каркасных элементов и два – для пород с преобладанием форменных компонентов.

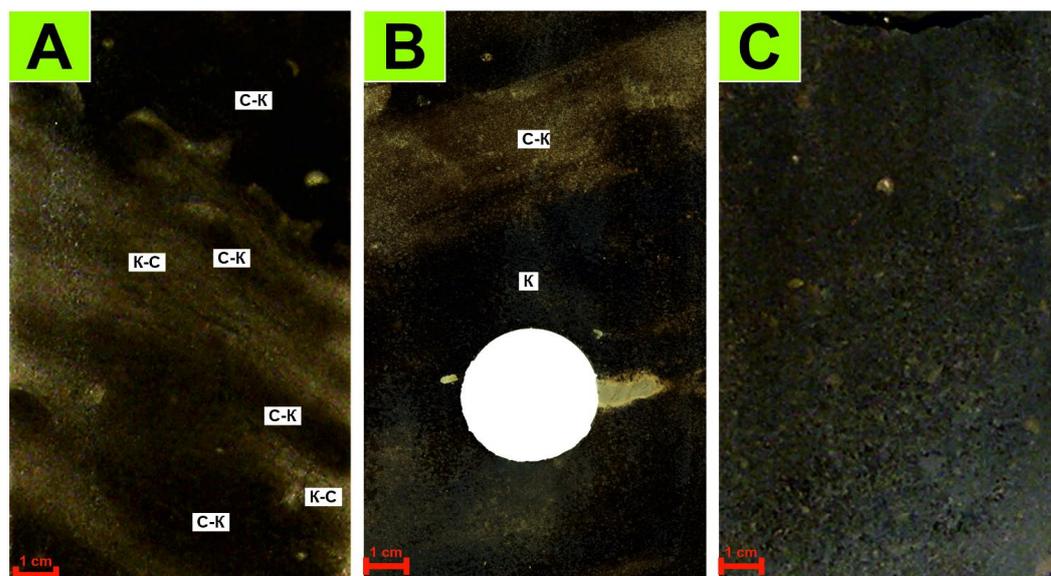


Рис. 4. Макротекстуры пород с преобладанием форменных (некаркасных) элементов: А – линзовидно-слоистая текстура; В – слоистая текстура; С – массивная текстура. Фото зерна в дневном свете. С-К – сгустково-комковатая масса; К-С – комковато-сгустковая масса; К – комковатая масса.

Литотипы пород с преобладанием каркасных компонентов:

Литотип 1 (Лт1): Известняки от светло до темно-коричневых, биогермные водорослево-бактериальные (баундстоуны). Каркасные формы (от 0,5 до 10 см, размеры даны исходя из макроскопического исследования зерна) сложены микритом (рис. 5А), участками перекристаллизованным до тонкокристаллического кальцита (рис. 5В). В межкаркасном пространстве встречаются форменные элементы – сгустки и комки (размерами от 0,1 до 0,5 мм), сложенные пелитоморфным кальцитом, сгустки представляют из себя совокупность плотно соприкасающихся комков (часто размером менее 0,1 мм) с плохо прослеживаемыми межформенными контактами, которые преобладают в межкаркасном пространстве. Межформенное пустотное пространство может быть частично заполнено единичными кристаллами кальцита в результате вадозной цементации с образованием каплевидного цемента.

Для данного литотипа характерны текстурные вариации в зависимости от процентного содержания каркасных элементов в породе и соотношения комков к сгусткам. Макротекстура литотипа пятнистая, пятнисто-слоистая, слоистая, пятнисто-петельчатая и петельчатая. Распределение пустотного пространства в шлифах по участкам заполнителя неравномерное и характеризуется развитием пятнистой микротекстуры, выраженной в множественных разноориентированных и смыкающихся продолговатых скоплениях преимущественно комков (толщиной до 4 см), частично обрамленных тонкими (толщиной до 1 см) прожилками сгустков.

Для Лт1 пустотное пространство приурочено к межкаркаскому заполнителю. Пустоты относятся к межформенному типу пустотного пространства с неправильной или округлой формой. Размер пустот колеблется в пределах от 0,01 до 0,75 мм со средним значением 0,05–0,10 мм. Видимая в шлифах пористость может изменяться от 5 до 10%.

В пространстве вблизи границ плотных и пористых структур часто наблюдаются участки с интенсификацией выщелачивания, что обуславливает наличие более крупных пустот вдоль отдельных границ каркасных элементов (рис. 6). Этот эффект, в том числе наблюдается и вблизи крупных интракластов и комков.

Литотип 2 (Лт2): Известняки светло-коричневые, бежевые биогермные, водорослево-бактериальные (баундстоуны), схожие по структурно-текстурным особенностям с предыдущим литотипом. Он отличается от вышеописанного тем, что межкаркасное пространство сложено преимущественно сгустковой массой микрозернистого кальцита и лишь отдельные участки породы сложены комками (размером 0,1–0,2 мм) (рис. 5С). Макротекстуры литотипа: пятнистая, слоисто-пятнистая и слоистая.

Для Лт2 пустотное пространство приурочено к межкаркасному заполнителю и распределено неравномерно. Это выражено в появлении микротекстуры, которую можно описать как линзовидно-слоистую. Линзы сложены в основном комками, разграниченными волнистыми прослоями сгустков (толщиной до 3–4 см). Основное пустотное пространство связано с комковатой структурой: пустоты преимущественно межформенного типа неправильной, реже округлой формы, размером от 0,01 до 0,25 мм со средними значениями 0,01–0,03 мм. Видимая в шлифах пористость может составлять от 1 до 3%.

Литотипы пород с преобладанием форменных компонентов:

Литотип 3 (Лт3): Известняки коричневые граноморфные водорослево-сгустково-комковатые (пак-грейнстоуны) со спаритовым цементом, основная часть породы сложена комками (0,05–0,35 мм), в меньшей степени перекристаллизованными обломками талломов зеленых водорослей (0,05–0,88 мм) и сгустками (рис. 5D). Межформенное пространство частично выполнено янокристаллическим кальцитовым цементом.

Литотип характеризуется слоистыми макротекстурами: линзовидно-слоистая и слоистая текстуры, что обусловлено чередованием слоев с комковатой и сгустковой структурами.

Для Лт3 пустотное пространство распределено относительно равномерно (массивная микротекстура) либо послойно (слоистая микротекстура). В слоях с комковатой структурой преобладает межформенная пористость (пустоты неправильной, реже округлой формы с размером от 0,01 до 0,75 мм со средними значениями 0,10–0,25 мм). По отдельным прослоям отмечается смятие комковатого материала с образованием сгусткового, в которых преобладают участки микропористости. В прослоях с участием перекристаллизованных обломков талломов зеленых водорослей комки, как правило, не сминаются, за счет чего сохраняется крупная межформенная пористость. Видимая в шлифах пористость может составлять от 7 до 11%. Комковатые слойки имеют толщину от 1 до 4 см, а сгустковые линзы и слойки от 0,5 до 1,2 см.

Литотип 4 (Лт4): Известняки темно-коричневые граноморфные, водорослево-комковатые (грейнстоуны) с микробактериальными интракластами и спаритовым цементом. Порода сложена комками (0,09–0,68 мм) (рис. 5E,F) и обломками перекристаллизованных водорослей (0,10–0,55 мм), на фоне которых редко (менее 10%) встречаются интракласты размером от 4,8 до 7,2 мм. В межформенном пространстве отмечаются единичные крупные вторичные кристаллы кальцита (до 0,5 мм). В литотипе преимущественно встречается массивная макротекстура, реже неясно-слоистая.

Лт4 имеет относительно равномерное распределение пустотного пространства (массивная микротекстура). Пустоты преимущественно межформенного типа, неправильной, реже округлой формы с размером от 0,01 до 1,30 мм со средними значениями 0,25–0,50 мм. Крупный размер пустот обусловлен процессами выщелачивания с частичным расширением первичной межформенной пористости. Видимая в шлифах пористость может составлять от 12 до 18%.

Таким образом, граноморфные участки пород, характеризующиеся различным соотношением комковатого и сгусткового материала, обладают, в том числе, различными их пространственными взаимосочетаниями – микротекстурой (рис. 6):

1. Для участков с преимущественно комковатой (водорослево-комковатой) структурой – характерны слоистая и массивная микротекстуры (рис. 6А).
2. Для участков со сгустково-комковатой структурой – пятнистая микротекстура (комковатые разности почти не разобщены сгустковым материалом) (рис. 6В).

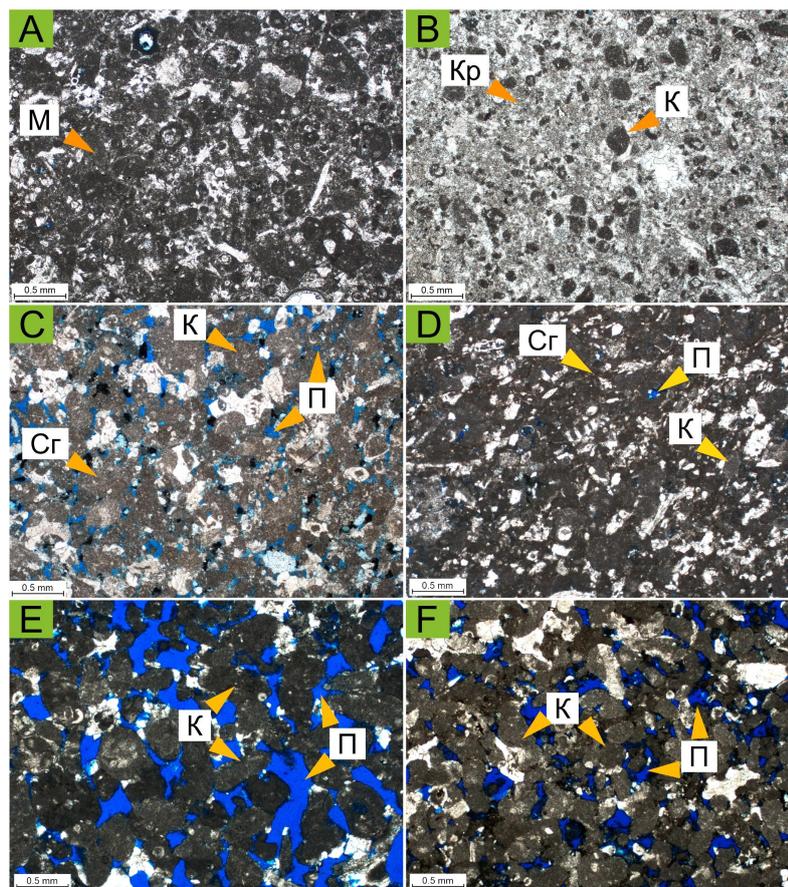


Рис. 5. Основные структуры изучаемых пород-коллекторов. Фотографии шлифов без анализатора: А – частично перекристаллизованная микритовая структура каркасных элементов; В – кристаллическая структура перекристаллизованных каркасных элементов; С – сгустково-комковатая структура; D – комковато-сгустковая структура; E, F – комковатая структура; М – микритовая структура; К – комки; Сг – сгустки; П – межформенные пустоты; Кр – тонкокристаллический кальцит (по перекристаллизованному микриту) в микробиально-водорослевом каркасе.

3. Для участков с комковато-сгустковой структурой – линзовидно-слоистая микротекстура (комковатые линзы разобщены сгустковыми прослоями) (рис. 6С).

Результаты исследования ФЕС пород-коллекторов

Основу пустотного пространства исследуемых пород-коллекторов составляет межформенный тип пористости, приуроченный к участкам комковатой структуры. Неоднородность его распространения и связности отражается как в макротекстурных, так и в микротекстурных особенностях строения пород.

Эффективное пустотное пространство пород-коллекторов, состоящих из каркасных элементов и межкаркасного граноморфного заполнителя в основном приурочено к последнему. Это связано, как правило, с низкой пористостью и плохой связанностью пустот между собой внутри водорослево-микробиальных каркасных элементов.

При исследовании пород в шлифах установлено, что на распределение пустотного пространства сильное влияние оказывает и микротекстура. Это выражено в пространственном распределении межформенной пористости (для комковатых структур) и участков микропористости (для сгустковых). Исходя из этого исследование пустотного пространства по данным капилляриметрии проводилось по образцам, взятым из участков пород с граноморфной структурой. В связи с тем, что среди рассматриваемых в данной работе граноморфных структур встречаются только сгустковая, комковато-сгустковая (преобладание сгустков над комками), сгустково-комковатая (преобладание комков над сгустками), комковатая, для каждой из них определены

средние значения распределения пустотного пространства и средние коэффициенты проницаемости и пористости (табл. 1).

Таблица 1. Петрофизическая характеристика пород с различной структурой

Структура	Пористость Кп, %	Проницаемость Кпр, 10–3 мкм ²	Средний радиус порowych каналов, мкм	Содержание порowych каналов с радиусом, %				
				<0,121 мкм	0,121– 0,725 мкм	0,725– 5,800 мкм	5,800– 29,000 мкм	>29,000 мкм
Комковатая	14,93	221,76	6,76	7,53	7,05	48,32	31,94	5,16
Сгустково-комковатая	9,95	24,24	4,96	16,30	14,29	46,43	16,62	6,37
Комковато-сгустковая	7,54	3,48	3,00	23,57	22,84	42,18	7,20	4,20
Сгустковая	5,20	0,64	2,51	40,42	24,72	23,65	5,58	5,63

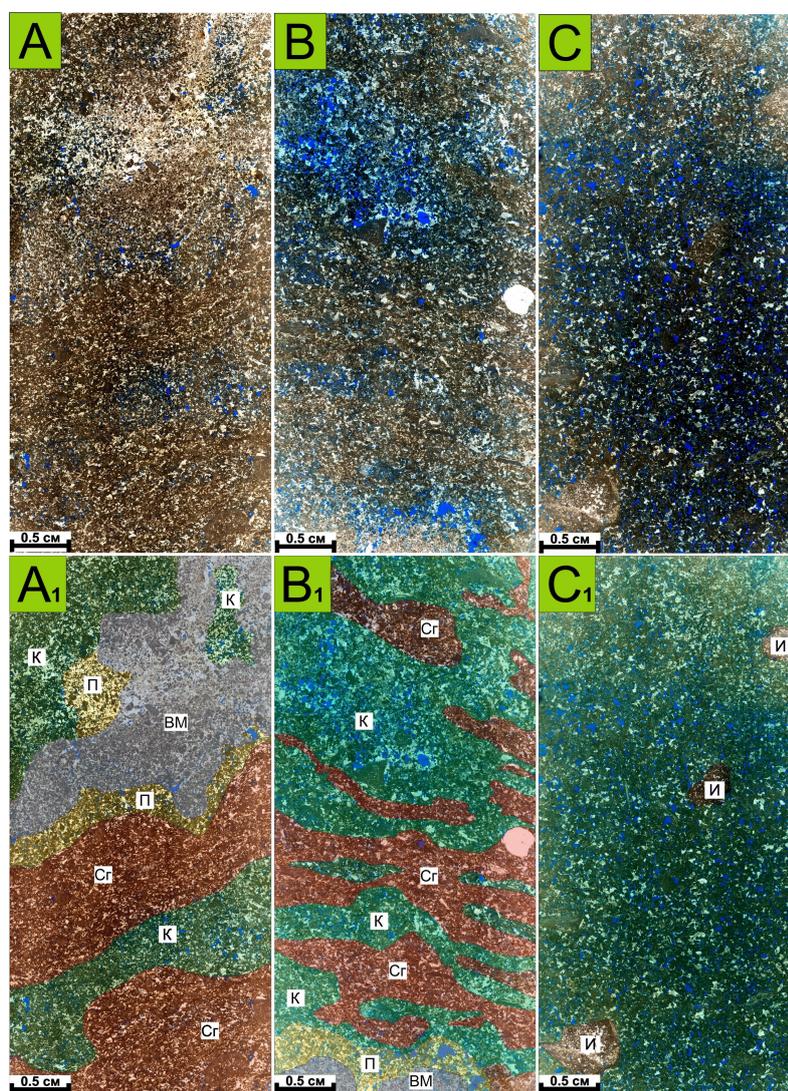


Рис. 6. Основные микротекстуры изучаемых пород-коллекторов. Фотографии шлифов без анализатора: А – слоистая микротекстура межкаркасного заполнителя; В – слоисто-пятнистая микротекстура межкаркасного заполнителя; С – массивная микротекстура межкаркасного заполнителя; А₁, В₁, С₁ – интерпретация шлифов, с выделением зон с однотипными структурами; К – комковатая структура; Сг – сгустковая структура; ВМ – водородо-микробные образования; П – переходная зона; И – интракласты.

Согласно таблице, породы со сгустковой структурой характеризуются низкими значениями коэффициента пористости (5,2%) и проницаемости (0,64 мД). Большая часть поровых каналов (64,72%) имеет радиус до 0,725 мкм, среди которых преобладают субкапиллярные (порядка 40%) радиусом до 0,121 мкм. По мере появления в породах участков комковатой структуры, увеличивается коэффициент пористости и средний размер каналов, вследствие чего растет коэффициент проницаемости. Таким образом для участков пород с комковато-сгустковой структурой значения коэффициента пористости и проницаемости составляют 7,5% и 3,48 мД, а для участков пород со сгустково-комковатой структурой 10% и 24 мД соответственно. Для пород с полностью комковатой структурой характерно высокое значение пористости (в среднем 15%). Большая часть каналов (порядка 80%) имеет размеры 0,725–29,000 мкм. По этой причине для этих пород характерны повышенные значения проницаемости (в среднем 221 мД).

Обсуждение полученных результатов

Возникновение наблюдаемых текстур обусловлено действием различных ведущих факторов, приводящих к формированию каркасных и некаркасных элементов.

Для макротекстур пород с преобладанием некаркасных элементов ведущим фактором могут считаться гидродинамические условия среды. Все вариации слоистых текстур формируются, по-видимому, в периодически изменяющихся условиях:

1. При плавном изменении будет образовываться линзовидно-слоистая текстура;
2. Если изменения выраженные и резкие будет формироваться горизонтальная и косая слоистая текстура без линз.

Образование массивной текстуры связано с существованием устойчивого гидродинамического режима, не испытывающего изменений. Альтернативным вариантом генезиса может рассматриваться одномоментное поступление материала, в результате которого слоистость не успевает сформироваться. На это может указывать, тот факт, что породы с такой текстурой состоят из плохо сортированных комков и интракластов.

Ведущим фактором формирования макротекстур пород с преобладанием каркасных элементов является биопродуктивность водорослево-микробных колоний, тогда как гидродинамические условия среды выступают вспомогательным фактором.

Пятнистая текстура говорит о слабой биопродуктивности – каркасные элементы занимают малую долю (до 15%) относительного объема породы, а весь остальной объем занят межкаркасным граноморфным заполнителем. Петельчатая текстура, наоборот, указывает на высокую биопродуктивность, так как каркасные элементы составляют большую часть (более 50%) объема породы.

Развитие колоний может иметь две направленности:

1. Первая предполагает слоистые формы существования колоний. В таком случае каркасные элементы образуются в слоисто-пятнистую текстуру или более развитую, слоистую текстуру.
2. Вторая предполагает, что каркасные элементы формируют пятнисто-петельчатую текстуру за счет вертикального приращения и, в дальнейшем, могут развиваться в петельчатую текстуру.

Путь, по которому произойдет развитие текстуры зависит от дополнительных условий в виде, например, гидродинамического режима бассейна, в котором происходит формирование осадка. При периодически изменчивом гидродинамическом режиме будут формироваться слоистые текстуры. В случае постоянного умеренно-активного гидродинамического режима будут образовываться петельчатые текстуры, потому что в породах с такой текстурой межкаркасный заполнитель сложен в большей степени комками с небольшим количеством сгустков, что указывает на относительно активную гидродинамику при осадконакоплении.

Структурные вариации пород связаны с тем, что в них выделяется разное процентное содержание комков и сгустков в относительном объеме, что в свою очередь может

быть также связано с гидродинамикой среды. Предполагается, что сгустки осаждаются в среде в спокойных или слабо активных водных условиях, а комки осаждаются в среде с активной гидродинамикой среды.

Результаты исследования пустотного пространства и ФЕС оптико-петрографическими и петрофизическими методами позволили определить, что фильтрация флюидов в основном приурочена к породам с преобладанием форменных элементов, так как каркасные по большей части характеризуются плотным строением с наличием единичных трещин и пустот выщелачивания. Необходимо отметить также зоны сочленения каркасных и некаркасных элементов, где процентное содержание пустотного пространства от площади шлифа возрастает. Это, вероятно, связано с процессами выщелачивания, которые приурочены к этим зонам.

Исходя из полученных наблюдений, что фрагменты породы с каркасными элементами обладают малым количеством пустотного пространства, следует вывод, что появление каркасных элементов уменьшает общее пустотное (емкостное) пространство породы и видоизменяет фильтрационные свойства породы. Каркасные элементы выступают в виде локальных барьеров для фильтрации флюидов в определенных направлениях. Результаты литолого-петрофизических исследований показывают, что породы со сгустковой структурой характеризуется низкими ФЕС. Это связано с тем, что сами породы отличаются малым объемом пустот и преобладанием субкапиллярных каналов. Породы с преобладанием комковатой структуры, наоборот, имеют повышенные ФЕС, ввиду наличия крупных проводящих каналов в межформенной пористости. Однако распределение сгусткового материала относительно комковатого может изолировать последний. В связи с этим породы обладают пористостью, приуроченной к комковатым участкам, а фильтрация будет определяться сгустковыми.

Таким образом, пустотное пространство исследуемых пород обладает иерархическим строением, определяющимся микротекстурным и макротекстурным уровнем.

Заключение

1. Проведен текстурный и структурный анализ исследуемых пород. Выделены основные типы структур и текстур. Для пород определены ФЕС.
2. В породах выявлены текстурные вариации, связанные с преобладанием каркасных или форменных элементов.
3. Для пород с развитием водорослево-микробияльных каркасных элементов выделено пять основных типов макротекстур. Для пород с преобладанием некаркасных элементов выделено три типа макротекстур.
4. Выделено четыре литотипа, характеризующие вариации микробияльно-водорослевых карбонатных пород коллекторов.
5. Для граноморфных участков пород определены четыре типа микротекстур.
6. Исследования показывают, что фильтрация приурочена к некаркасным элементам, а каркасные элементы уменьшают общее пустотное пространство и выступают в виде локальных барьеров для фильтрации.
7. Породы со сгустковой и комковато-сгустковой структурами обладают низкими ФЕС, а породы со сгустково-комковатой и комковатой – средними и высокими ФЕС соответственно.
8. Направление фильтрации и значения проницаемости внутри граноморфных участков пород определяются их микротекстурой.

Результаты исследований можно использовать в качестве основы моделирования ФЕС пород с сложным неоднородным строением.

Благодарности. Авторы выражают благодарность профессору А. В. Постникову за ценные замечания в ходе подготовки рукописи статьи, а также коллективу кафедры литологии РГУ (НИУ) нефти и газа имени И. М. Губкина. Авторы статьи также благодарят анонимных рецензентов за их ценные замечания.

Список литературы

- Багринцева К. И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. — Москва : РГГУ, 1999. — 312 с.
- Жемчугова В. А. Природные резервуары в карбонатных формациях Печорского нефтегазоносного бассейна. — Москва : Изд-во МГГУ, 2002. — 243 с.
- Казимиров Е. Т., Нуриахметов Р. Р., Постников А. В. Тектурно-структурные формы организации пустотного пространства в фаменских карбонатных природных резервуарах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Разведка и охрана недр. — 2023. — № 6. — С. 45–51. — DOI: [10.53085/0034-026X_2023_06_45](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_06_45). — EDN: [MTZTRV](https://www.edn.ru/MTZTRV).
- Киркинская В. Н., Смехов Е. М. Карбонатные породы - коллекторы нефти и газа. — Ленинград : Недра, 1981. — 255 с.
- Кузнецов В. Г. Литология. — Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2018. — 410 с. — EDN: [UDVVGI](https://www.edn.ru/UDVVGI).
- Мусихин А. Д., Осинцева Н. А., Сивальнева О. В. и др. Условия формирования пород-коллекторов фаменских отложений центральной части восточного борта Хорейверской нефтегазоносной области Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2012. — Т. 7, № 2. — С. 12. — EDN: [OZHMPV](https://www.edn.ru/OZHMPV).
- Осинцева Н. А. Литология, фашии и коллекторские свойства верхнедевонских отложений центральной части Хорейверской впадины в связи с перспективами их нефтегазоносности: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геол.-мин. наук. — Москва : РГУ (НИУ) нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. — 26 с.
- Пармузина Л. В. Верхнедевонский комплекс Тимано-Печорской провинции (строение, условия образования, закономерности размещения коллекторов и нефтегазоносность). — СПб. : Недра, 2007. — 152 с.
- Постников А. В., Оленова К. Ю., Сивальнева О. В. и др. Генетические типы пустотного пространства и закономерности их распределения в карбонатных природных резервуарах Тимано-Печорской провинции // Экспозиция Нефть Газ. — 2022. — 1(86). — С. 22–28. — DOI: [10.24412/2076-6785-2022-1-22-28](https://doi.org/10.24412/2076-6785-2022-1-22-28).
- Постникова О. В., Китаева И. А., Репина М. О. и др. Влияние вторичных преобразований на формирование коллекторских свойств осинского горизонта Непско-Ботуобинской антеклизы // Территория Нефтегаз. — 2012. — № 11. — С. 24–27. — EDN: [PZHQMJ](https://www.edn.ru/PZHQMJ).
- Постникова О. В., Постников А. В., Сивальнева О. В. и др. Литолого-петрофизическая неоднородность карбонатных резервуаров Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. — 2021. — № 4. — С. 5–20. — DOI: [10.33285/2073-9028-2021-4\(305\)-5-20](https://doi.org/10.33285/2073-9028-2021-4(305)-5-20).
- Тугарова М. А. Вторичные изменения карбонатных пород нефтегазоносных комплексов // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. — 2020. — № 4. — С. 18–23. — DOI: [10.7868/S2587739920040023](https://doi.org/10.7868/S2587739920040023). — EDN: [DRKQWR](https://www.edn.ru/DRKQWR).
- Фортулатова Н. К., Карцева О. А., Баранова А. В. и др. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. — Москва : ВНИГНИ, 2005. — 440 с. — EDN: [QKNUJV](https://www.edn.ru/QKNUJV).
- Фролов В. Т. Литология. Том 2. — Москва : Изд-во Московского университета, 1993. — 432 с.
- Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of Carbonate Rocks - A Symposium. — AAPG, 1962. — P. 108–121.
- Pratt B. R. Stromatolitic Framework of Carbonate Mud-Mounds // SEPM Journal of Sedimentary Research. — 1982. — Vol. 52, no. 4. — P. 1203–1227. — DOI: [10.1306/212f80fd-2b24-11d7-8648000102c1865d](https://doi.org/10.1306/212f80fd-2b24-11d7-8648000102c1865d).
- Turner E. C., James N., Narbonne G. M. Taphonomic Control on Microstructure in Early Neoproterozoic Reefal Stromatolites and Thrombolites // PALAIOS. — 2000. — Vol. 15. — P. 87–111. — DOI: [10.1669/0883-1351\(2000\)015<0087:TCOMIE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2000)015<0087:TCOMIE>2.0.CO;2).

RELATIONSHIP BETWEEN RESERVOIR PROPERTIES OF ROCKS AND TEXTURAL FEATURES OF UPPER DEVONIAN CARBONATE RESERVOIR ROCKS OF THE TIMAN-PECHORA BASIN

R. R. Nuriahmetov^{*},¹ , E. T. Kazimirov¹ , and N. A. Lykov^{1,2} 

¹Gubkin Russian State University of Oil and Gas

²Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

****Correspondence to:** Ruzil Rafikovich Nuriahmetov, nuriahmetov25@gmail.com

The paper presents the results of structural and textural characterization of heterogeneous, complexly built microbial-algae reservoir and their comparison with the results of petrophysical studies. The main types of textures and structures occurring in the rocks are highlighted. Reservoir properties of rocks are characterized by standard petrophysical cylinders locally, according to the prevailing structure in them. The paper shows the lithological and petrophysical characterization of the main structures of the studied rocks and proposes options to take into account the influence of macro- and micro-textures in determining reservoir properties and character of filtration in rocks.

Keywords: Carbonate reservoir, devonian, Timan-Pechora, reservoir properties of rocks.

Citation: Nuriahmetov, R. R. , E. T. Kazimirov, and N. A. Lykov (2025), Relationship Between Reservoir Properties of Rocks and Textural Features of Upper Devonian Carbonate Reservoir Rocks of the Timan-Pechora Basin, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4001, <https://doi.org/10.2205/2025ES001034>, EDN: WINBFY

Received: March 20, 2025

Accepted: June 11, 2025

Published: June 20, 2025



© 2025. The Authors.

References

- Bagrintseva K. I. Conditions of formation and properties of carbonate reservoirs of oil and gas. — Moscow : RSUH, 1999. — P. 312. — (In Russian).
- Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of Carbonate Rocks - A Symposium. — AAPG, 1962. — P. 108–121.
- Fortunatova N. K., Kartseva O. A., Baranova A. V., et al. Atlas of structural components of carbonate rocks. — Moscow : VNIGNI, 2005. — P. 440. — EDN: [QKNUJV](https://doi.org/10.2205/2005ES001034) ; (in Russian).
- Frolov V. T. Lithology. Volume 2. — Moscow : Publishing House of Moscow University, 1993. — P. 432. — (In Russian).
- Kazimirov E. T., Nuriakhmetov R. R., Postnikov A. V. Textural and structural forms of the organization of the void space in the Famen Carbonate natural reservoirs of the Timan-Pechora oil and gas province // Prospect and protection of mineral resources. — 2023. — No. 6. — P. 45–51. — DOI: [10.53085/0034-026X_2023_06_45](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_06_45). — EDN: [MTZTRV](https://doi.org/10.2205/2023ES001034) ; (in Russian).
- Kirkinskaya V. N., Smekhov E. M. Carbonate rocks - oil and gas reservoirs. — Leningrad : Nedra, 1981. — P. 255. — (In Russian).
- Kuznetsov V. G. Lithology. — Moscow : Gubkin Russian State University of Oil, Gas, 2018. — P. 410. — EDN: [UDVVGI](https://doi.org/10.2205/2018ES001034) ; (in Russian).
- Musikhin A. D., Osintseva N. A., Sivalneva O. V., et al. Eastern edge of Khoreyver petroleum sub-basin (Timan-Pechora basin) - Petrogenesis of the Famennian reservoirs // Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies. — 2012. — Vol. 7, no. 2. — P. 12. — EDN: [OZHMPV](https://doi.org/10.2205/2012ES001034).
- Osintseva N. A. Lithology, facies and reservoir properties of the Upper Devonian deposits of the central part of the Khoreyver depression in connection with the prospects of their oil and gas potential: abstract of a dissertation for the degree of candidate of geological and mineral sciences. — Moscow : Gubkin Russian State University of Oil, Gas, 2013. — P. 26. — (In Russian).
- Parmuzina L. V. Upper Devonian complex of the Timan-Pechora province (structure, conditions of formation, patterns of reservoir placement and oil and gas potential). — St. Petersburg : Nedra, 2007. — P. 152. — (In Russian).

- Postnikov A. V., Olenova K. Yu., Sivalneva O. V., et al. Genetic void types and their distribution regularities in carbonate reservoirs of Timan-Pechora province // Exposition Oil Gas. — 2022. — 1(86). — P. 22–28. — DOI: [10.24412/2076-6785-2022-1-22-28](https://doi.org/10.24412/2076-6785-2022-1-22-28). — (In Russian).
- Postnikova O. V., Kitaeva I. A., Repina M. O., et al. The influence of secondary transformations on the formation of reservoir properties of the Osinsky horizon of the Nepa-Botuoba antecline // Territorija Neftegaz. — 2012. — No. 11. — P. 24–27. — EDN: [PZHQMJ](https://www.edn.ru/entry/PZHQMJ) ; (in Russian).
- Postnikova O. V., Postnikov A. V., Sivalneva O. V., et al. Lithological and petrophysical heterogeneity of carbonate reservoirs of Timan-Pechora oil and gas province // Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. — 2021. — No. 4. — P. 5–20. — DOI: [10.33285/2073-9028-2021-4\(305\)-5-20](https://doi.org/10.33285/2073-9028-2021-4(305)-5-20). — (In Russian).
- Pratt B. R. Stromatolitic Framework of Carbonate Mud-Mounds // SEPM Journal of Sedimentary Research. — 1982. — Vol. 52, no. 4. — P. 1203–1227. — DOI: [10.1306/212f80fd-2b24-11d7-8648000102c1865d](https://doi.org/10.1306/212f80fd-2b24-11d7-8648000102c1865d).
- Tugarova M. A. Secondary changes in carbonate rocks of oil and gas complexes // PRONEFT. Professionally about Oil. — 2020. — No. 4. — P. 18–23. — DOI: [10.7868/S2587739920040023](https://doi.org/10.7868/S2587739920040023). — EDN: [DRKQWR](https://www.edn.ru/entry/DRKQWR) ; (in Russian).
- Turner E. C., James N., Narbonne G. M. Taphonomic Control on Microstructure in Early Neoproterozoic Reefal Stromatolites and Thrombolites // PALAIOS. — 2000. — Vol. 15. — P. 87–111. — DOI: [10.1669/0883-1351\(2000\)015<0087:TCOMIE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2000)015<0087:TCOMIE>2.0.CO;2).
- Zhemchugova V. A. Natural reservoirs in carbonate formations of the Pechora oil and gas basin. — Moscow : Publishing house of Moscow State Mining University, 2002. — P. 243. — (In Russian).