

Поступила в редакцию 07.03.2025 г.

Принята к публикации 30.04.2025 г.

EDN: QJRFAV

УДК 552.578.061.4:551.762.2(571.121)

Пустовой Д.А., Хафизов С.Ф.

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина), Москва, Россия, denis.pustovoy@gmail.com, khafizov@gubkin.ru

ЛИТОЛОГИЯ И ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНОЙ ПОТЕНЦИАЛ МАЛЫШЕВСКОЙ СВИТЫ СЕВЕРА ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

Представлены результаты комплексного исследования геологического строения и условий формирования терригенных отложений средней юры (малышевской свиты) в пределах Поруйского вала полуострова Ямал. На основе детального анализа кернового материала и данных геофизических исследований скважин проведена детальная литологическая характеристика разреза, выделены основные типы литотипов, проанализированы их фильтрационно-емкостные свойства и определены условия осадконакопления.

Ключевые слова: малышевская свита, средняя юра, литотипы, фильтрационно-емкостные свойства, условия осадконакопления, Поруйский вал, полуостров Ямал.

Для цитирования: Пустовой Д.А., Хафизов С.Ф. Литология и фильтрационно-емкостной потенциал малышевской свиты севера полуострова Ямал // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №2. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/14_2025.html EDN: QJRFAV

Введение

Полуостров Ямал, являющийся ключевым элементом Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, сохраняет стратегическое значение для российской энергетики благодаря своим колоссальным запасам углеводородов. При этом существенная часть недр полуострова остается неизученной.

Особый интерес в этом контексте представляют терригенные отложения среднего отдела юрской системы, включающую в себя малышевскую, леонтьевскую и вымскую свиты. Данные отложения демонстрируют высокий потенциал нефтегазоносности, подтвержденный опробованиями и промышленной эксплуатацией на ряде месторождений Ямальской нефтегазоносной области. Пласты Ю₂-Ю₉ газонасыщены в пределах Бованенковского, Мало-Ямальского, Малыгинского, Новопортовского, Харасавэйского и Южно-Тамбейского месторождений. Нефть получена и поставлена на государственный баланс в скважинах Новопортовского месторождения.

По состоянию на 01.01.2023 г. извлекаемые запасы природного газа категорий А+В1+В2+С1+С2 в среднеюрских отложениях п-ова Ямал превышают 1,8 трлн м³, а нефти - 75 млн. т. Несмотря на свою невысокую изученность, данные породы уже формируют порядка 16% ресурсной базы полуострова по газу и почти 35% по нефти. При этом перспективы

увеличения запасов за счет доразведки юрских горизонтов, а также за счет освоения пород доюрского комплекса, остаются крайне высокими.

Исследования палеогеографии, литологии и фильтрационно-емкостного потенциала осадочных отложений Западно-Сибирского региона, включая п-ов Ямал, имеют длительную историю и охватывают широкий спектр вопросов, связанных с геологическим строением, седиментационными процессами и нефтегазоносностью мезозойских комплексов.

Фундаментальные работы по палеогеографии Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде проведены А.Э. Конторовичем с соавторами [Конторович и др., 2013]. Эти данные подтверждены более ранними исследованиями, где подробно описаны условия осадконакопления, фациальная изменчивость и палеогеографические реконструкции региона [Месежников и др., 1971]. Б.Н. Шурыгин с соавторами в своей публикации по стратиграфии юрской системы нефтегазоносных бассейнов Сибири детализируют зональные шкалы и корреляции, что позволяет уточнить возраст и условия формирования отложений, подобных малышевской свите [Шурыгин и др., 2000]. Аналогичный подход применен в другой статье, где палеогеографические реконструкции юрского периода Сибири выделяют этапы перестроек осадочных систем, влияющих на литологический состав и фациальную изменчивость [Девятов, Никитенко, Шурыгин, 2011].

Седиментационные модели и литолого-фациальные особенности юрских и меловых отложений Западной Сибири активно изучались в последние десятилетия: К.Ю. Чучалина с соавторами сосредоточились на прогнозировании фациальной изменчивости прибрежно-континентальных отложений малышевской свиты (пласты Ю2-4) на севере Ямальского п-ова. Н.Я. Васильев с соавторами предложили седиментационные модели нижнемелового нефтегазоносного комплекса севера Западной Сибири, включая п-ов Ямал [Чучалина, Казанцев, Зундэ, 2021; Васильев и др., 2015].

Фильтрационно-емкостной потенциал осадочных пород Западной Сибири, включая юрские и меловые отложения, изучался в контексте их нефтегазоносности. Т.Г. Исакова с соавторами провели типизацию отложений тюменской свиты, которая стратиграфически близка к малышевской свите, с акцентом на гидродинамическую активность условий осадконакопления [Исакова и др., 2022]. Многолетние исследования нефтегазоносности юрских и меловых отложений Западной Сибири подчеркнули важность литолого-фациального анализа для прогноза неструктурных ловушек углеводородов [Танинская и др., 2011; Палеогеография юры..., 2023; Шиманский и др., 2024].

Объект исследования

Основным объектом исследования выступили терригенные отложения среднего отдела

юрской системы в пределах одного из месторождений Поруйского вала Ямальского п-ова (рис. 1). В фокусе анализа находятся породы малышевской свиты, характеризующиеся газо- и нефтенасыщенностью в пластах Ю₂-Ю₄.

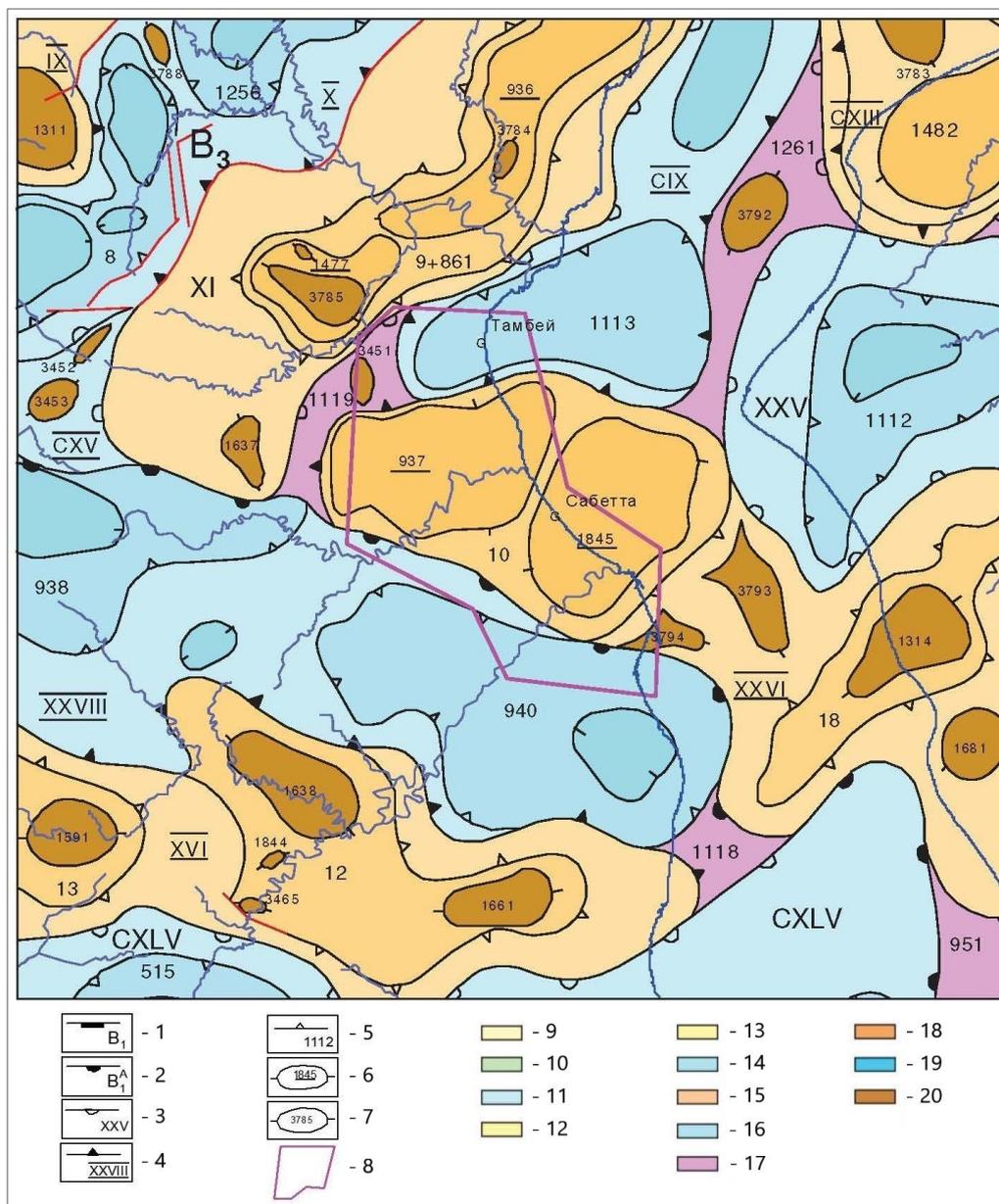


Рис. 1. Фрагмент карты тектонического строения полуострова Ямал (В.С. Бочкарев, 1990 г.).

Поруйский вал отмечен номером XXVI. Контуры структур: 1 - надпорядковых структур (синеклиз, моноклиз), 2 - I порядка крупных (поясов мегавалов, поясов мегапрогибов, моноклиналей), 3 - I порядка средних и малых (мегавалов, впадин, моноклиналей), 4 - II порядка крупных, 5 - II порядка средних и малых, 6 - III порядка крупных, 7 - III порядка средних и IV порядка мелких, 8 - граница Южно-Тамбейского лицензионного участка. Структуры I порядка: 9 - положительные крупные (пояса мегавалов), 10 - однокрылые средние и малые (моноклинали), 11 - отрицательные средние и малые (впадины, мегапрогибы), 12 - отрицательные средние и малые (своды, мегавалы, выступы). Структуры II порядка: 13 - положительные крупные (валы), 14 - отрицательные крупные (прогибы, малые впадины), 15 - положительные средние и малые (малые валы, куполовидные поднятия), 16 - отрицательные средние и малые (малые прогибы), 17 - средние и малые (седловины). Структуры III и IV порядков: 18 - положительные крупные (крупные брахиантиклинали, крупные купола), 19 - отрицательные мелкие и средние (локальные депрессии), 20 - положительные мелкие и средние (локальные поднятия, структурные носы).

Отложения малышевской свиты образуют комплекс пластов Ю₂-Ю₄, которые с несогласием залегают на морских глинистых породах леонтьевской свиты. В батский период происходило формирование осадочного чехла в условиях поэтапной и неравномерной трансгрессии. Наблюдалось уменьшение площади континентальных участков суши и их количества за счет выравнивания рельефа. Это способствовало появлению на аккумулятивных равнинах речных систем с меандрирующим рисунком [Месежников и др., 1971].

Методы

Для достижения целей настоящего исследования использован комплекс методов, включающий детальный анализ кернового материала (шлифы горных пород, фотографии керна) и данных геофизических исследований скважин (ГИС), что позволило, определить условия осадконакопления, выделить основные литотипы и провести анализ связей фильтрационно-емкостных характеристик коллекторов с их литологическим составом.

Результаты

В разрезе малышевской свиты выявлены и охарактеризованы два принципиально разных литотипа: условно «сплошные» (однородные по составу) и условно «слоистые» (гетерогенные, с преобладанием одного компонента).

Среди однородных литотипов выделены сплошные аргиллиты (Ар1), алевролиты (Ал1), чистые песчаники (П1) и глинистые песчаники (П1гл). Гетерогенные литотипы включают слоистые аргиллиты (Ар2), алевролиты (Ал2) и песчаники (П2).

Литотип сплошных аргиллитов (Ар1) представлен однородными (иногда со слабой субгоризонтальной слоистостью), плотными, темно-серыми аргиллитами с большим количеством линзочек и прерывистых прослоек алевролита серого толщиной до 1 см, с мелкой вкрапленностью и линзочками пирита микрокристаллического размером до 1х3 см. Пример подобных отложений представлен на рис. 2¹.

Шлиф представляет собой плотную песчано-алевритовую глину с линзовидно-слоистой, возможно, биотурбированной, структурой. Линзы песчано-алевритового материала (длина - 1,8-3,0 см) отличаются бурым цветом и ориентированным, редко полого наклонным расположением, некоторые изогнуты, что может указывать на нарушение первичной слоистости. Размер частиц варьирует от 0,008 до 0,18 мм, с преобладанием фракции 0,02-0,04 мм (алевритовая фракция - 80%, мелкопесчаная - 10%, тонкопесчаная - 10%). Зерна неокатанные, угловатые, изометричные, редко удлиненные, с хорошей сортировкой.

¹ Все фотографии керна и шлифов взяты из отчета А.Ф. Боярчук и др., ОАО «НПЦ «Тверьгеофизика», 2014 г.

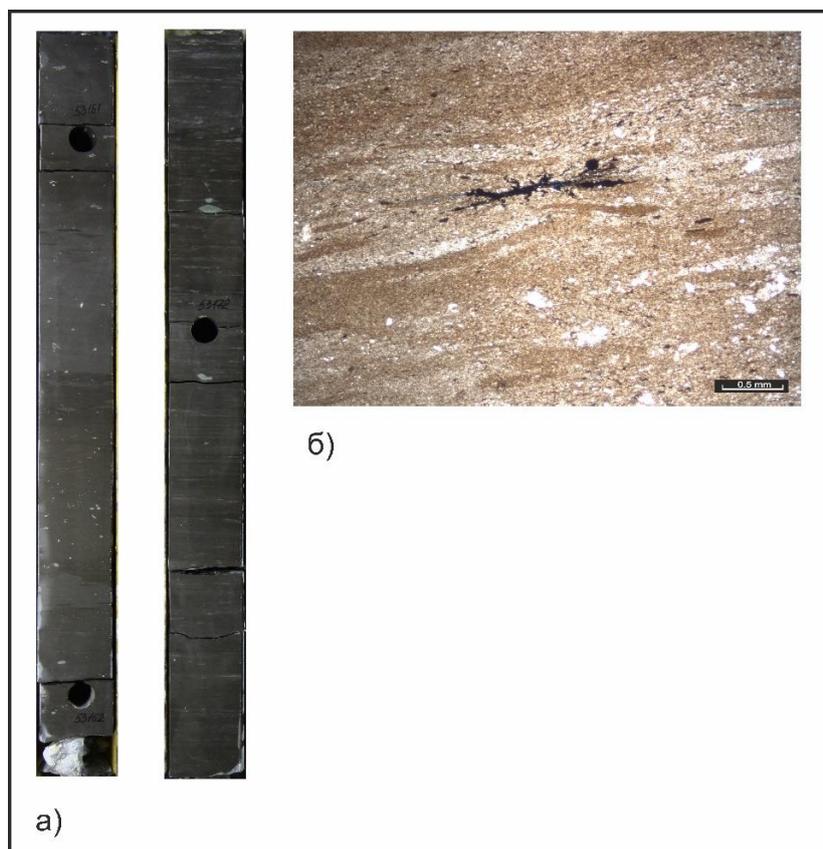


Рис. 2. Пример литотипа сплошных аргиллитов

а - на фотографиях керна при дневном свете; б - на фотографии шлифа (без анализатора).

Основной состав включает кварц с равномерным угасанием, мусковит, обломки кварцитов. Цемент (20% в линзах) поровый, равномерный, представлен каолинит-гидрослюдистым агрегатом. Диагенетические изменения включают агрегаты пелитоморфного железистого карбоната (5%), пиритизацию (10-15%) с глобулями 0,008-0,03 мм, хлоритизацию биотита, единичные кристаллы кальцита, замещающие песчаные обломки. Органическое вещество (15%) представлено углефицированным детритом (длина до 1,05 см), дисперсным ОВ, придающим породе бурый цвет, и редкими сгустками (0,03-0,15 мм). Порода пересекается субпараллельными трещинами (ширина 0,008-0,03 мм). Коэффициент пористости (Кп) составляет 6,33%, проницаемость (Кпр) - 0,12 мД.

По данным ГИС отложения литотипа Ар1 характеризуются максимальными значениями гамма-каротажа в разрезе свиты, пониженными показаниями нейтронных методов и низкими электрическими сопротивлениями.

С точки зрения условий осадконакопления породы литотипа относятся к частям морского мелководья с пониженной гидродинамической активностью.

Литотип сплошных алевролитов (Ал1) представлен массивными темносерыми полимиктовыми глинистыми слюдистыми с микролинзочками битуминозного угля, известковистыми алевролитами. Наблюдаются тонкие прослои светло-серого

тонкозернистого полимиктового слюдистого песчаника. Пример данных отложений приведен на рис. 3.

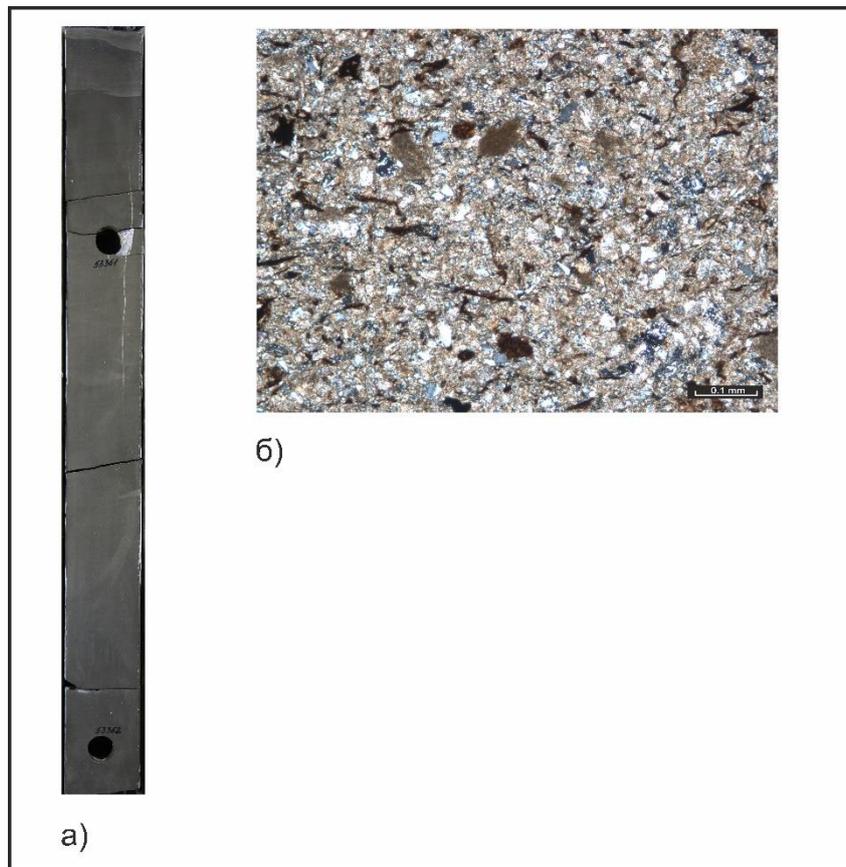


Рис. 3. Пример литотипа сплошных алевролитов

а) на фотографиях керна при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

Шлиф представляет собой плотную алевролитовую глинисто-карбонатную породу с многочисленными остатками углефицированного растительного детрита (20%). Текстура беспорядочная, местами слоистая за счет неотчетливой ориентировки растительных остатков, кристаллическая с терригенной примесью. Размер частиц варьирует от 0,01 до 0,08 мм, с преобладанием фракции 0,02-0,04 мм (алевролитовая фракция - 87%, тонкопесчаная - 13%). Зерна неокатанные, полуокатанные, корродированные, изометричные, удлиненные, игольчатые, резко угловатые, с хорошей сортировкой.

Основной состав включает яснокристаллический карбонат (85%) и глинистое вещество (15%), с терригенной примесью: кварц с равномерным или облачным угасанием, полевые шпаты (затронуты пелитизацией), обломки кварцитов, мусковит, частично хлоритизированный и гидратированный биотит. Диагенетические изменения представлены карбонатизацией (возможно, конкреция), агрегатами пелитоморфного карбоната (10%, до 0,16 мм), коррозией обломков карбонатом, хлоритизацией и гидратацией биотита, а также

заполнением трещин микрокристаллическим кальцитом. Растительные остатки (0,02-0,4 мм) ярко-коричневые, удлиненной, нитевидной или изометричной формы.

Порода пересекается минерализованной извилистой микротрещиной (ширина 0,02-0,32 мм) и открытой слабо извилистой микротрещиной (ширина 0,01 мм). Коэффициент пористости (Кп) составляет 9,4%, проницаемость (Кпр) - 0,02 мД.

По данным ГИС для литотипа Ал1 характерны умеренные значения гамма-каротажа, ниже, чем у аргиллитов, но выше, чем у песчаников; средние показания нейтронных методов; средние значения электрического сопротивления, что обусловлено наличием глинистой примеси.

Породы литотипа Ал1 формировались в прибрежно-морских районах с периодическим воздействием течений, где преобладало осаждение алевритового материала. Гидродинамика умеренная, допускающая аккумуляцию мелкообломочных частиц, но недостаточная для транспорта грубозернистого материала.

Литотип чистых песчаников (III) представлен песчаниками средней крепости с прослоями аргиллита. Цвет песчаников изменяется от светло-серого до коричневатого-серого. Песчаники в большей степени тонко-мелкозернистые. Минеральный состав полимиктовый (кварц, КПШ, плагиоклаз, карбонатные минералы), с присутствием пирита и битуминозного угля в некоторых прослоях. Текстура в основном массивная, с вариациями от субгоризонтальной до косой слоистости. Наблюдаются деформации в виде зеркал скольжения и оползневых структур в некоторых интервалах. Пример данных отложений приведен на рис. 4.

Шлиф представляет собой мелко-тонкозернистый алевритистый полимиктовый песчаник с глинистым цементом, пористый. Текстура неотчетливая, прерывисто микрокосослоистая, определяется ориентировкой слюд и агрегатов пелитоморфного железистого карбоната, алевропсаммитовая. Размер зерен варьирует от 0,02 до 0,4 мм, с преобладанием фракции 0,06-0,18 мм (тонкопесчаная фракция - 70%, мелкопесчаная - 15%, алевритовая - 15%, среднепесчаная < 1%). Зерна неокатанные, полуокатанные, изометричные, удлиненные, таблитчатые, с хорошей сортировкой.

Состав включает кварц с равномерным или облачным угасанием, редкой регенерацией (каемка до 0,02 мм), пелитизированные плагиоклазы, мусковит, биотит, обломки эффузивов, кварцитов, глинистых сланцев, а также акцессорные турмалин и эпидот. Глинистый цемент (10%) представлен каолинитом, заполняющим межформенные поры. Диагенетические изменения включают пиритизацию (2-3%, микроглобули 0,01-0,32 мм), агрегаты пелитоморфного карбоната, замещающие биотит, слабую хлоритизацию и разложение биотита, пелитизацию полевых шпатов, деформацию и растворение обломков, единичные

кристаллы кальцита. Органическое вещество (1-2%) представлено редкими углефицированными растительными остатками удлиненной и изометричной формы.

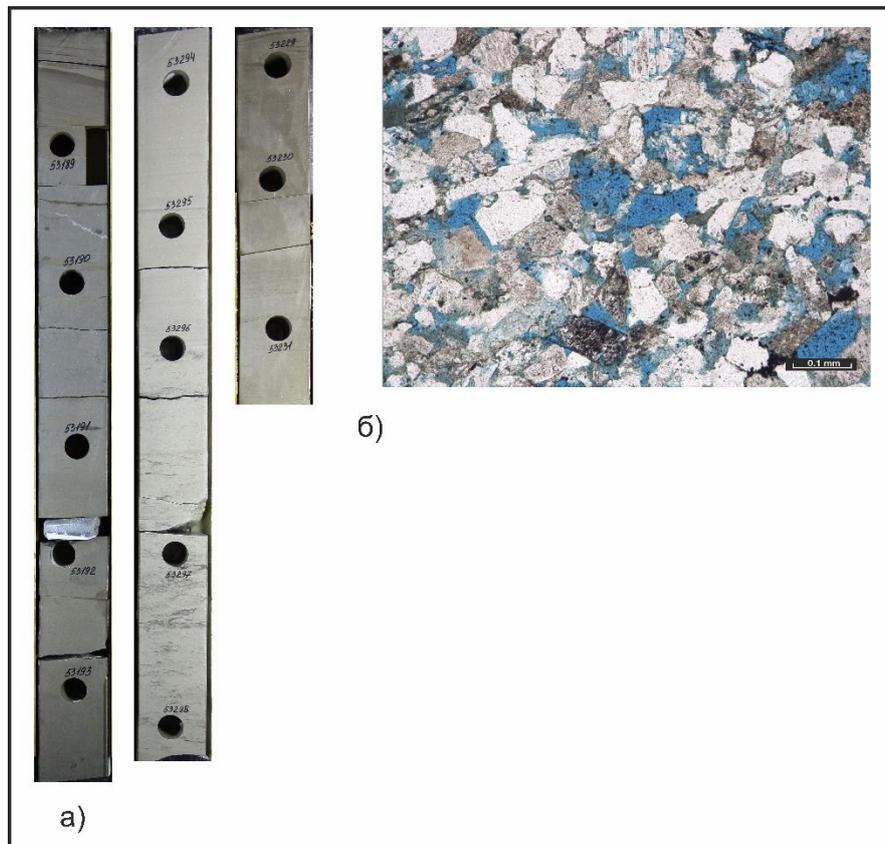


Рис. 4. Пример литотипа чистых песчаников

а) на фотографиях ядра при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

Емкостное пространство (20%) состоит из межзерновых пор и пор растворения (0,02-0,24 мм), форма пор изометричная, угловатая, удлиненная, реже щелевидная, с хорошей связностью. Коэффициент пористости (Кп) - 18,65%, проницаемость (Кпр) - 0,53 мД.

По данным ГИС для литотипа П1 характерны минимальные значения гамма-каротажа в разрезе свиты, что обусловлено низким содержанием глинистых минералов, низкие показания нейтронных методов и высокие значения электрического сопротивления.

Породы литотипа П1 формировались в условиях высокой гидродинамики, вероятно, в руслах рек или в проксимальной части конусов выноса. В отдельных работах выделяют подобные условия осадконакопления для схожих отложений [Исакова и др., 2022]. Интенсивные течения с высокой энергией потока обеспечивали перенос и отложения хорошо и средне сортированных зерен.

Литотип глинистых песчаников (П1г) представлен светло-серыми мелкозернистыми известковистыми с редкими тонкими тёмно-серыми прослойками слюдисто-углистого состава песчаниками. Для отложений данного литотипа характерна повышенная цементация

глинистыми и, иногда, карбонатными минералами. Порода плотная, средней крепости. Пример данных отложений приведен на рис. 5.

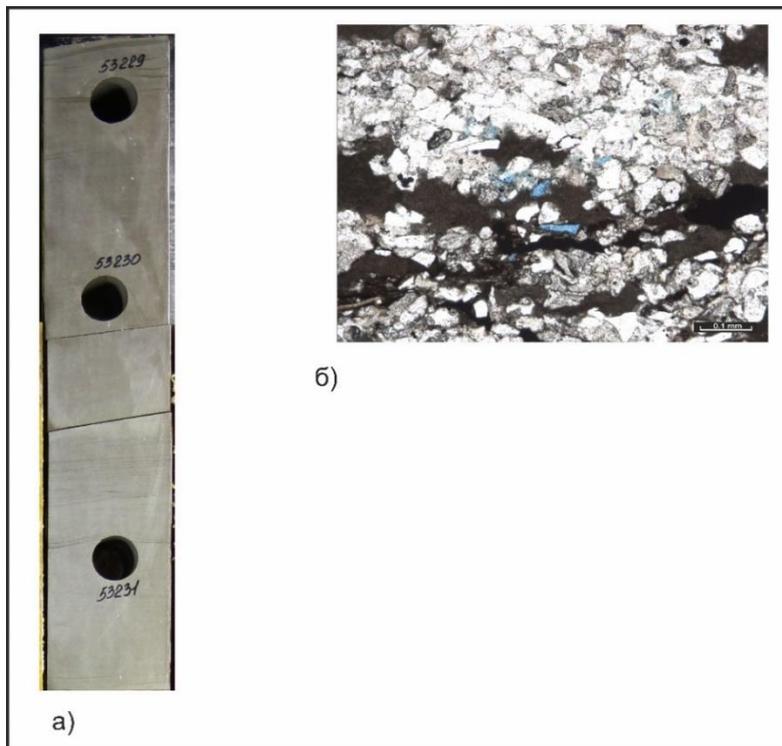


Рис. 5. Пример литотипа глинистых песчаников

а) на фотографиях ядра при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

Шлиф представляет собой мелко-тонкозернистый алевритовый полимиктовый песчаник с глинисто-карбонатным цементом, пористый. Текстура тонко горизонтально слоистая за счет прослоев, обогащенных карбонатом и углефицированными растительными остатками, местами микрокосоистая и деформированная, с мощностью обогащенных слоев 3-5 мм, алевропсаммитовая. Размер зерен варьирует от 0,01 до 0,024 мм, с преобладанием фракции 0,06-0,12 мм (тонкопесчаная фракция - 45%, алевритовая - 35%, мелкопесчаная - 20%). Зерна неокатанные, полуокатанные, изометричные, удлиненные, с плохой сортировкой.

Состав включает кварц с равномерным или облачным угасанием, слабо пелитизированные плагиоклазы, мусковит, биотит, обломки эффузивов, кварцитов, глинистых и кремнисто-глинистых сланцев, чешуйки хлорита, акцессорный циркон. Цемент (22%) состоит из глинистого (12%, каолинит-гидрослюдистый агрегат) и карбонатного (10%, мелкокристаллический кальцит) типов, заполняющих межформенное пространство. Диагенетические изменения включают карбонатизацию (кальцит корродирует и замещает обломки), агрегаты пелитоморфного железистого карбоната (20-25%, до 0,45 мм), хлоритизацию биотита, пелитизацию полевых шпатов, замещение биотита карбонатом,

деформацию слюд, трещинообразование, частичное растворение обломков, пиритизацию (1-2%) с псевдоморфозами по растительному детриту. Органическое вещество (10-12%) представлено углефицированным детритом (до 1,05 мм) удлинённой, нитевидной и изометричной формы.

Ёмкостное пространство (12-15%) состоит из межзерновых пор и редких пор растворения (0,02-0,1 мм), форма пор изометричная, угловатая, удлинённая; поры сообщаются в скоплениях, но изолированы в плотных участках. Шлиф пересекает ветвящаяся извилистая микротрещина (ширина 0,01-0,03 мм), приуроченная к карбонатизированному прослою. Коэффициент пористости (Кп) - 11,94%, проницаемость (Кпр) - 0,09 мД.

По данным ГИС для литотипа П1гл характерны повышенные значения гамма-каротажа в разрезе свиты относительно чистых песчаников, что обусловлено увеличением содержания глинистых минералов, умеренные показания нейтронных методов повышенные значения электрического сопротивления.

Породы литотипа П1гл формировались в условиях пониженной гидродинамики, вероятно, в межрусловых поймах или более глубоких частях шельфа, характеризующихся относительно спокойной средой с низкой энергией, где происходило аккумулятивное накопление пелитовых частиц совместно с псаммитовыми.

Литотип слоистых аргиллитов (Ar2) представлен тонкослоистой ритмичным переслаиванием аргиллита темно-серого, черного битуминозного, алевролита светло-серого и коричневатого-серого, песчаника светло-серого мелко-тонкозернистого. Порода биотурбирована в начальной стадии литификации, местами сильнобиотурбирована. В аргиллите встречаются линзочки песчаника мелкозернистого, частично пиритизированного микрокристаллическим пиритом. Слоистость субгоризонтальная. Текстура тонкополосчатая волнистая, линзовидная, местами нарушенная биотурбацией. Пример данных отложений приведен на рис. 6.

Шлиф состоит из двух частей: мелко-тонкозернистого алевролитового полимиктового песчаника с редкими порами и обрывка глинистого прослоя (аргиллита). Песчаник имеет косослоистую текстуру (мощность слоев 1-5 мм), определяемую ориентировкой углефицированного детрита, слюд и пелитоморфного железистого карбоната. Аргиллит характеризуется тонкой прерывистой слоистостью с удлинёнными линзами глинистого вещества, детрита и карбоната, а также микролинзами алевролитового материала (длина 1,6 мм). Контакты между песчаником и аргиллитом резкие, неровные, обрывистые, алевропсаммитовые.

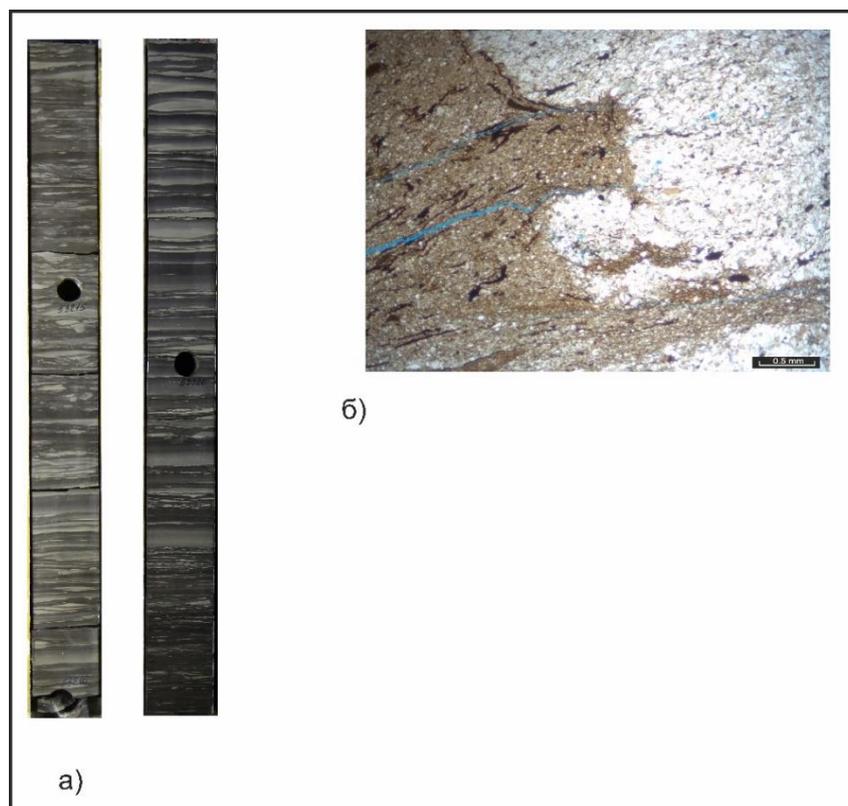


Рис. 6. Пример литотипа слоистых аргиллитов

а) на фотографиях керна при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

В песчанике размер зерен изменяется от 0,001 до 0,32 мм, преобладающая фракция - 0,04-0,08 мм (тонкопесчаная - 45%, алевритовая - 35%, мелкопесчаная - 20%, среднепесчаная < 1%), зерна неокатанные, полуокатанные, изометричные, удлиненные, с плохой сортировкой. В аргиллите размер зерен - 0,01-0,06 мм, преобладающая фракция - 0,01-0,02 мм (алевритовая - 95%, тонкопесчаная - 5%). Состав включает кварц с равномерным или облачным угасанием, слабо пелитизированные плагиоклазы, мусковит, биотит, обломки эффузивов, кварцитов, чешуйки хлорита, аксессуарные турмалин и циркон.

Глинистый цемент (15%) представлен каолинит-гидрослюдистым агрегатом, карбонатный - единичными кристаллами кальцита, заполняющими поры. В аргиллите глинистое вещество бурого цвета, микрочешуйчатое, с одновременным угасанием. Диагенетические изменения включают агрегаты пелитоморфного железистого карбоната (5-7% в аргиллите), хлоритизацию биотита, трещинообразование. Органическое вещество: в песчанике 2-3% (детрит - до 0,8 мм, сгустки ОВ - до 0,3 мм), в аргиллите 5-7% (детрит - до 1,2 мм), с скоплениями мощностью 1,5 мм на контакте.

Поры в песчанике редкие (0,02-0,06 мм), изолированные (0,04 мм), вдоль поверхностей напластования проходят слабо извилистые трещины (0,005-0,01 мм). В аргиллите субпараллельные микротрещины (0,01-0,03 мм). Коэффициент пористости (K_p) - 11,45%,

проницаемость (Кпр) - 1,18 мД.

По данным ГИС для литотипа Ар2 характерны высокие значения гамма-каротажа с резкими понижениями небольшой толщины в пределах прослоев песчаников и алевролитов, низкие показания нейтронных методов и значения электрического сопротивления.

Породы литотипа Ар2 формировались в условиях низкой гидродинамики с периодическими затоплениями и обмелениями, соответствующих поймам, дистальным частям конуса выноса и озер.

Литотип слоистых алевролитов (Ал2) представлен неравномерным переслаиванием алевролита светло-серого, серого полимиктового песчано-глинистого слюдистого и аргиллита алевроитового слюдисто-битуминозно-углистого темно-серого и черного. В алевролите имеются линзочки и тонкие прослойки битуминозного угля. Слоистость субгоризонтальная. Текстура неравномерно-полосчатая волнистая, в отдельных толстых прослойках градационная по содержанию битуминозного угля. Пример данных отложений приведен на рис. 7.

Шлиф представляет собой песчаный глинистый полимиктовый алевролит с редкими трещинами. Текстура наклонно тонкослоистая, определяется ориентированным расположением слюд и включений пелитоморфного карбоната, псаммоалевритовая. Размер зерен варьирует от 0,01 до 0,12 мм, с преобладанием фракции 0,02-0,06 мм (алевритовая фракция - 65%, тонкопесчаная - 30%, мелкопесчаная - 5%). Зерна неокатанные, полуокатанные, изометричные, угловатые, удлинённые, пластинчатые, со средней сортировкой.

Состав включает кварц с равномерным или облачным угасанием, относительно свежие плагиоклазы, обломки кварцитов и глинистых сланцев, мусковит, гидратизированный и хлоритизированный биотит, акцессорные эпидот и турмалин. Цемент (16%) состоит из глинистого (15%, каолинит-гидрослюдистый агрегат) и карбонатного (1%, микрокристаллический кальцит) типов, заполняющих межформенное пространство. Диагенетические изменения включают агрегаты пелитоморфного карбоната (15%, до 0,24 мм), хлоритизацию и гидратацию биотита, замещение биотита карбонатом, редкую деформацию слюд, трещинообразование. Органическое вещество (2-3%) представлено редкими детритными частицами черного цвета и единичными сгустками темно-коричневого.

Порода плотная, с межзерновыми угловатыми порами (2-3%, 0,01-0,02 мм) вблизи трещин. Через шлиф проходят две субпараллельные слабо извилистые микротрещины (ширина - 0,01-0,06 мм). Коэффициент пористости (Кп) - 14,53%, проницаемость (Кпр) - 0,01 мД.

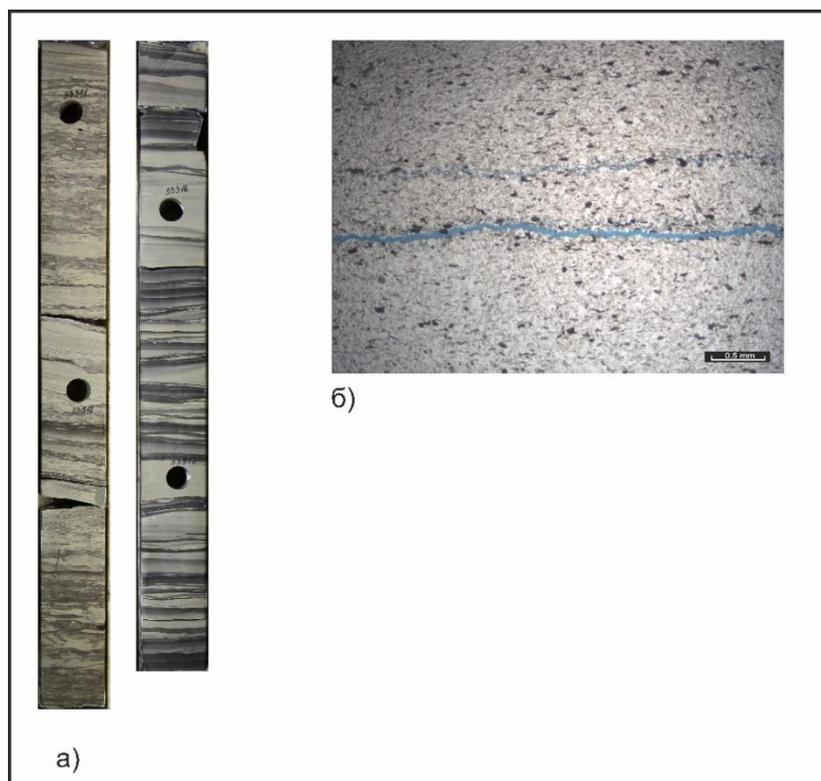


Рис. 7. Пример литотипа слоистых алевролитов

а) на фотографиях керна при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

По данным ГИС для литотипа Ал2 характерны умеренные значения гамма-каротажа, ниже, чем у аргиллитов, но выше, чем у песчаников; средние показания нейтронных методов и значения электрического сопротивления, что обусловлено наличием глинистой примеси.

Породы литотипа Ал2 формировались в обстановках с преобладанием алевролитовых слоев, где условия осадконакопления с более высокой, но все еще ограниченной энергией среды. Здесь алевролитовые частицы доминируют над более мелкими глинистыми или более крупными песчаными фракциями. Такие условия могут быть типичны для пойменных зон рек, прибрежных мелководий или окраин дельтовых систем, где скорость течения достаточна для транспорта алевролитовых частиц, но недостаточна для переноса песка.

Литотип слоистых песчаников (П2) представлен ритмичным переслаиванием темновато-серого тонкозернистого (полимиктового, глинистого, слюдистого) и светло-серого тонко-мелкозернистого песчаников, тонкослоистых пачек черного слюдисто-битуминозного алевролитового аргиллита. В темновато-сером песчанике присутствует довольно большое количество микролинзочек битуминозного угля. В светло-сером песчанике повсеместно имеются тонкие прослойки углисто-слюдистые. Мощность прослоев и пачек - до 20 см. Толщина прослоек аргиллита - до 1 см. Слоистость субгоризонтальная. Текстура массивная, тонкополосчатая субгоризонтальная, пологокосая, волнистая. Пример данных отложений приведен на рис. 8.

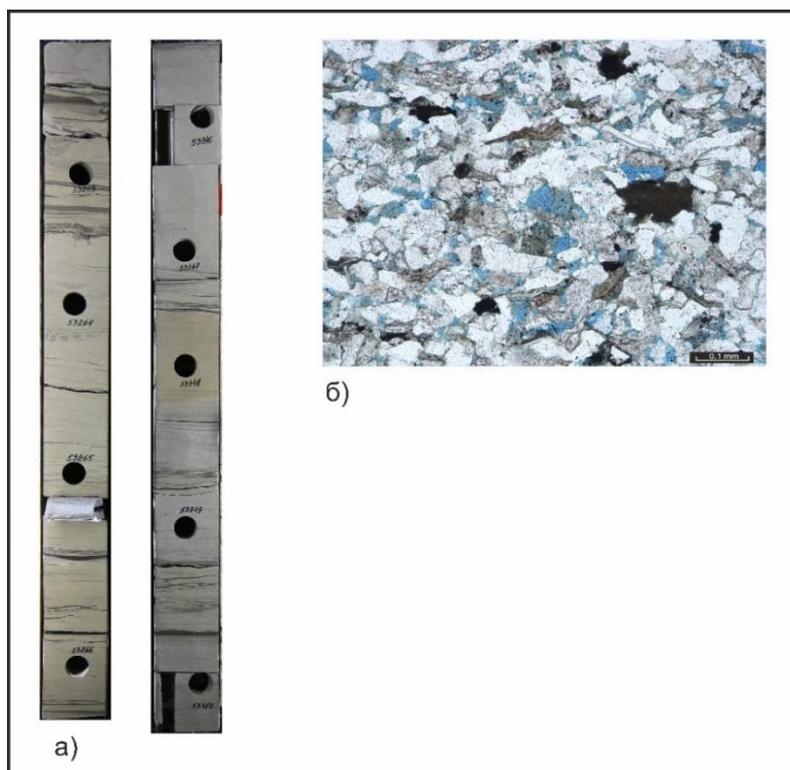


Рис. 8. Пример литотипа слоистых песчаников

а) на фотографиях керна при дневном свете; б) на фотографии шлифа (без анализатора).

Шлиф представляет собой мелко-тонкозернистый алевритовый полимиктовый песчаник с глинисто-карбонатным цементом, пористый. Текстура неотчетливая, прерывисто микрослоистая, определяется ориентировкой агрегатов пелитоморфного железистого карбоната и углефицированного растительного детрита, алевропсаммитовая. Размер зерен варьирует от 0,02 до 0,16 мм, с преобладанием фракции 0,06-0,1 мм (тонкопесчаная фракция - 45%, алевритовая - 30%, мелкопесчаная - 25%). Зерна неокатанные, полуокатанные, изометричные, таблитчатые, удлиненные, с плохой сортировкой.

Состав включает кварц с равномерным или облачным угасанием, пелитизированные плагиоклазы, обломки эффузивов, кварцитов, глинистых сланцев, мусковит, биотит, чешуйки хлорита. Цемент (15%) состоит из глинистого (7%, каолинит-гидрослюдистый агрегат) и карбонатного (8%, мелкокристаллический кальцит) типов, заполняющих межформенное пространство. Диагенетические изменения включают кальцитизацию (кальцит корродирует обломки), агрегаты пелитоморфного карбоната (5%, до 0,24 мм), хлоритизацию биотита, пелитизацию полевых шпатов, деформацию и разбухание слюд, их замещение карбонатом, разложение биотита до бурой глинистой массы. Органическое вещество (4-7%) представлено углефицированным детритом (3-5%, до 0,96 мм) удлиненной, нитевидной формы и черными частицами ОВ (1-2%) тонкой размерности.

Емкостное пространство (15%) состоит из межзерновых пор и редких пор растворения

(0,02-0,12 мм), форма пор изометричная, угловатая, редко удлинённая, с хорошей связностью. Поровое пространство затронуто катагенетической кальцитизацией. Коэффициент пористости (Кп) - 15,05%, проницаемость (Кпр) - 0,03 мД.

По данным ГИС для литотипа П2 характерны минимальные значения гамма-каротажа в разрезе свиты, с резкими повышениями в участках аргиллитовых прослоев; низкие показания нейтронных методов; высокие значения электрического сопротивления.

Породы литотипа П2 формировались в обстановках с преобладанием песчаных слоев, где условия осадконакопления с более высокой энергией среды, чем в литотипе Ал2. Это может быть связано с активной деятельностью рек, прибрежных течений или волновых процессов, которые транспортируют и отлагают песчаные частицы.

Выделенные интервалы распространения всех литотипов представлены на планшете интерпретации ГИС (рис. 9).

За счет проведенного литологического анализа в пределах выбранного разреза стало возможным проведение анализа фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород для каждого выделенного литотипа. Для этого построен точечный график зависимости показаний коэффициента проницаемости (Кпр) от коэффициента открытой пористости (Кп_отк), представленный на рис. 10. Цветовая палитра кружков отображает принадлежность к литотипам. Линиями отображены зоны облаков точек каждого из выделенных литотипов.

В целом исследуемые образцы обладают невысокими значениями проницаемости - средний Кпр для всей малышевской свиты составляет 0,936 мД. Наилучшие ФЕС отмечаются у песчаников литотипов П1 и П2. Максимальные значения открытой пористости достигают 19,7%, а проницаемости - 52,7 мД. Подробные результаты анализа ФЕС приведены в табл. 1.

На графике хорошо видно, что гетерогенные литотипы (Ар2, Ал2, П2 отмечены пунктирными зонами) имеют больший разброс значений, чем у однородных литотипов (Ар1, Ал1, П1 и П1гл отмечены сплошными зонами) из-за неоднородности структуры, а именно, наличия прослоек второстепенных литологических разностей (см. рис. 10). Это влияет и на средние показания ФЕС.

Так, средние значения Кп_отк и Кпр слоистых литотипов аргиллитов и алевролитов (Ар2 и Ал2) выше показателей сплошных аргиллитов и алевролитов (9,4% против 7,4% и 1,445 против 0,07 мД для аргиллитов и 10,7 против 9,7% и 0,277 против 0,264 мД).

Среди условно монолитных песчаников выделенный литотип глинистых песчаников П1гл обладает существенно более низкими ФЕС, чем литотип П1 (средний Кп - 6,3% для П1гл и 12,6% для П1, Кпр - 0,032 мД для П1гл и 0,999 мД для П1). Это связано с повышенным содержанием глинистых минералов, реже - карбонатов в цементирующей части пород.

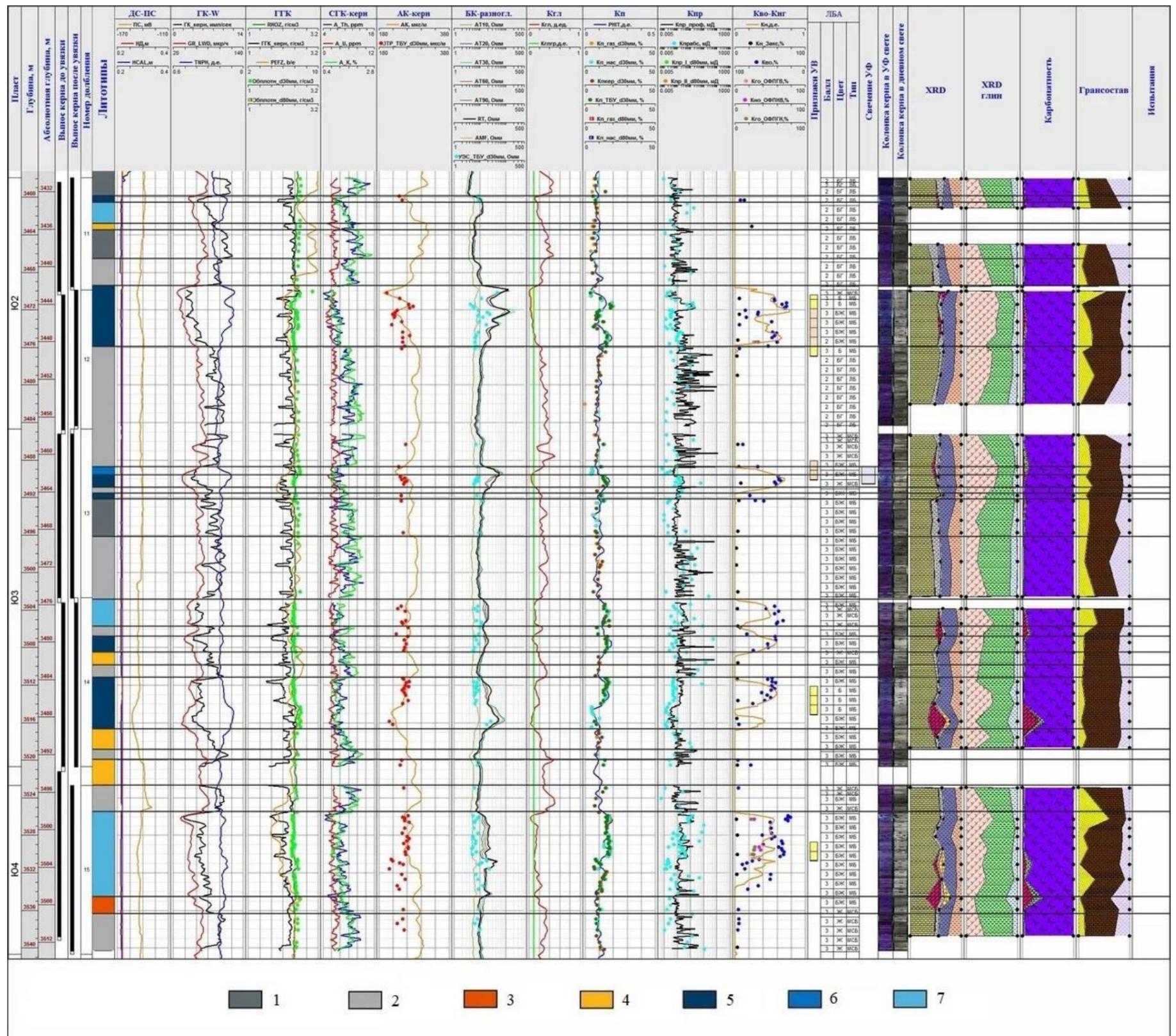


Рис. 9. Планшет геофизических исследований скважины 170 с выделенными литотипами по фотографиям керна и шлифов
Литотипы: 1 - литотип Ар1; 2 - литотип Ар2; 3 - литотип Ал1; 4 - литотип Ал2; 5 - литотип П1; 6 - литотип П1г1; 7 - литотип П2.

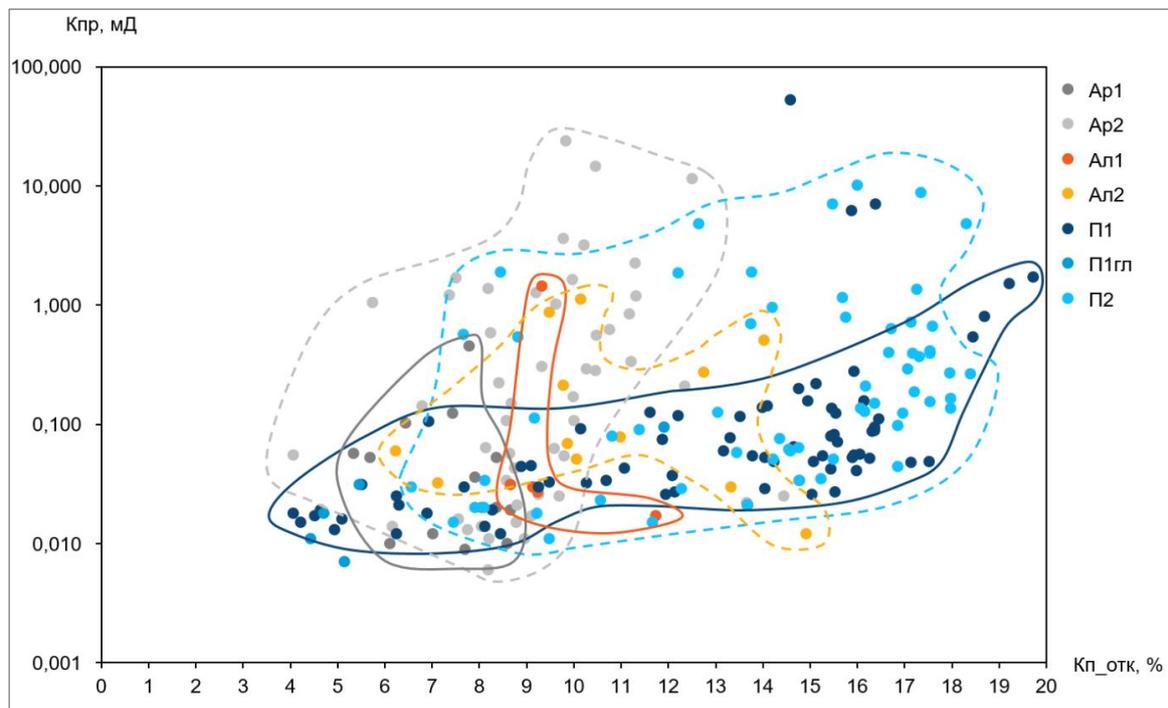


Рис. 10. График зависимости проницаемости от открытой пористости

Таблица 1

Значения фильтрационно-емкостных свойств по выделенным литотипам

Литотип	Показатель	Мин	Макс	Среднее
Ар1	Кп_отк	5,3	8,7	7,4
	Кпр	0,009	0,452	0,070
Ар2	Кп_отк	4,1	14,8	9,4
	Кпр	0,006	23,971	1,445
Ал1	Кп_отк	6,2	14,0	9,7
	Кпр	0,017	1,443	0,264
Ал2	Кп_отк	6,2	14,9	10,7
	Кпр	0,012	1,128	0,277
П1	Кп_отк	4,1	19,7	12,6
	Кпр	0	52,659	0,999
П1гл	Кп_отк	4,4	11,9	6,3
	Кпр	0,007	0,095	0,032
П2	Кп_отк	6,6	18,4	14,2
	Кпр	0	10,208	0,883

При анализе эффективной пористости ($K_{п\text{эфф}}$) исследуемых отложений определено, что достаточными коллекторскими свойствами обладают породы песчаных литотипов (П1 и П2), вне зависимости от их сплошности и слоистости, за исключением глинистых песчаников.

Это отчетливо видно на точечном графике зависимости $K_{пр}$ от $K_{п_эфф}$ (рис. 11).

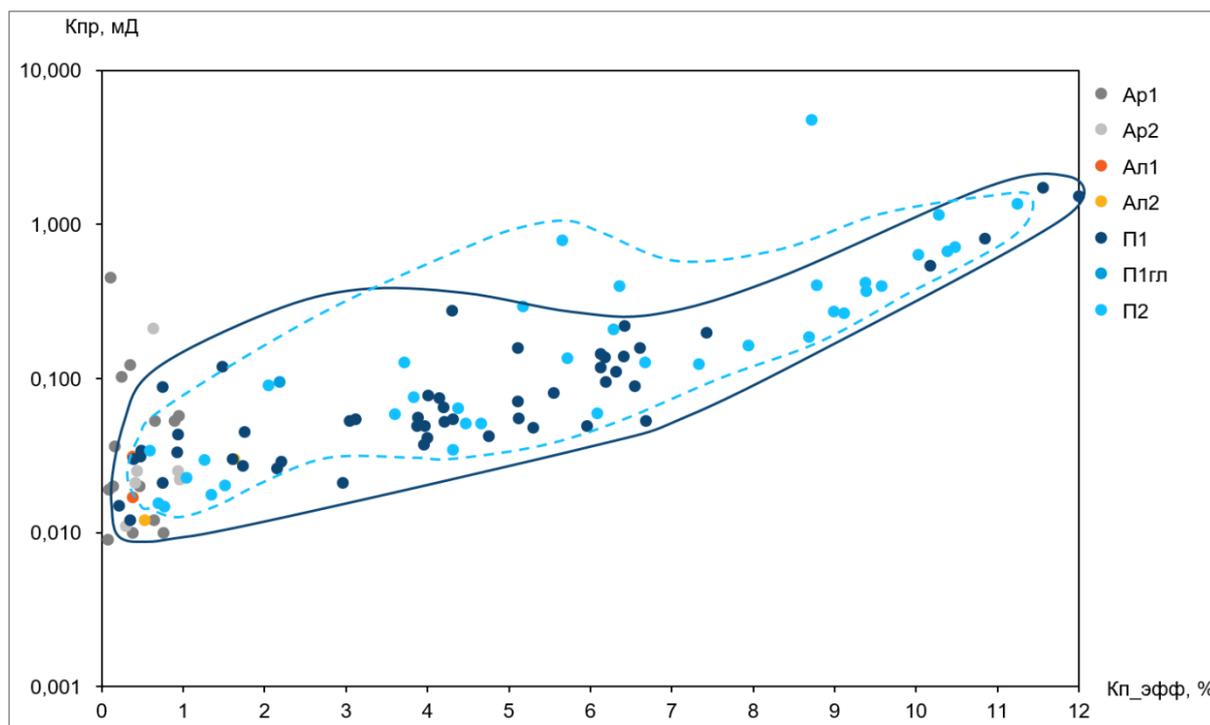


Рис. 11. График зависимости проницаемости от эффективной пористости

Обсуждения

1. Влияние литологической неоднородности на ФЕС.

Выделение двух групп литотипов - «сплошных» (Ар1, Ал1, П1, П1гл) и «слоистых» (Ар2, Ал2, П2), подтвердило, что гетерогенность пород является ключевым фактором, определяющим разброс значений пористости и проницаемости. Наибольшая вариативность ФЕС наблюдается у слоистых литотипов, что связано с чередованием прослоев разного состава (песчаники, алевролиты, аргиллиты).

Например, слоистые аргиллиты (Ар2) демонстрируют повышенную пористость по сравнению со сплошными аргиллитами (Ар1) благодаря наличию тонких песчаных и алевролитовых прослоев, которые создают дополнительные пути для миграции флюидов. Аналогичная тенденция характерна для слоистых алевролитов (Ал2), где средняя проницаемость превышает показатели в сплошных алевролитах.

2. Роль условий осадконакопления.

Сравнение условий формирования литотипов с их коллекторскими свойствами выявило прямую зависимость между гидродинамикой среды и ФЕС. Чистые песчаники (П1), сформированные в условиях высокой энергии (русла рек, прибрежные течения), обладают максимальными значениями пористости (до 19,7%) и проницаемости (до 52,7 мД). В то же

время глинистые песчаники (П1гл), отложившиеся в низкоэнергетических обстановках (межрусловые поймы), демонстрируют снижение ФЕС ($K_{п_отк} = 6,3\%$, $K_{пр} = 0,032$ мД) из-за повышенного содержания глинистого цемента.

3. Практическая значимость для нефтегазовой геологии.

Результаты исследования имеют непосредственное применение при проектировании разработки месторождений:

- песчаники П1 и П2 с высокими ФЕС являются основными коллекторами углеводородов. Их зоны развития должны быть приоритетными для проведения геологоразведочных работ, палеорекопструкций осадконакопления и бурения добывающих скважин;

- сплошные аргиллиты (Ар1) могут играть роль пород-флюидоупоров или содержать нетрадиционные залежи углеводородов;

- слоистые алевролиты и аргиллиты (Ал2 и Ар2) с умеренными ФЕС могут рассматриваться как потенциальные объекты для доразведки и расширения имеющейся ресурсной базы месторождений.

Заключение

Интеграция литологического, седиментологического и петрофизического анализов позволила установить взаимосвязь между структурой пород, условиями их формирования и коллекторскими свойствами. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации геологоразведочных работ на п-ове Ямал, а также для разработки новых критериев прогнозирования залежей в терригенных отложениях средней юры.

В дальнейшем необходимо провести полноценный анализ условий осадконакопления пород средней юры п-ова Ямал (включая малышевскую, леонтьевскую и вымскую свиты), выделить наиболее перспективные седиментационные циклиты и создать концептуальную модель условий формирования изучаемых отложений для освоения юрского углеводородного потенциала региона.

Литература

Васильев Н.Я., Танинская Н.В., Шиманский В.В., Низяева И.С., Колпенская Н.Н. Седиментационные модели нижнемелового нефтегазоносного комплекса севера Западной Сибири // Материалы 2-й научно-практической конференции. - Новосибирск: СНИИГИМС, 2015. - Т. 2. - С. 23-27.

Девятков В.П., Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н. Палеогеография Сибири в юрском периоде на этапах основных перестроек // Новости палеонтологии и стратиграфии. Приложение к

журналу «Геология и геофизика». - 2011. - Вып. 16-17. - Т. 52. - С. 87-101.

Исакова Т.Г., Персидская А.С., Хотылев О.В., Коточкова Ю.А., Егорова А.Д., Дьяконова Т.Ф., Мозговой А.С., Чуркина В.В., Козаков С.В., Кожевникова Н.В., Ливаев Р.З., Дручин В.С., Белов Н.В., Калмыков Г.А. Типизация отложений тюменской свиты по степени гидродинамической активности условий осадконакопления при создании петрофизической модели и дифференцированной интерпретации геофизических исследований скважин // Георесурсы. - 2022. - 24(2). - С. 172-185. DOI: [10.18599/grs.2022.2.16](https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.16)

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. - 2013. - Т. 54. - № 8. - С. 972-1012. EDN: [RAPJF](https://www.edn.ru/entry/10.18599/grs.2013.8.972-1012)

Месежников М.С., Балабанова П.Ф., Веренинова П.П., Галеркина С.Т., Джиноридзе Н.М., Кирина Т.И., Кравец В.С., Чирва С.А. Палеогеография севера СССР в юрском и меловом периодах // Вопросы палеогеографии, палеобиогеографии мезозоя севера СССР. - Л.: Недра, 1971. - Вып. 304. - С. 3-133. (Труды ВНИГРИ).

Палеогеография юры и нижнего мела Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции: в 2 кн. / В.В. Шиманский, Н.В. Танинская, И.С. Низяева, Н.Н. Колпенская, Е.Г. Раевская, Н.Я. Васильев, М.А. Мясникова, В.Н. Зельцер, М.Н. Грислина, И.И. Мирзоева, А.А. Нугуманова; ФГБУ «ВНИГНИ». - Кн. 1. - Санкт-Петербург: Реноме, 2023. - 232 с.

Танинская Н.В., Шиманский В.В., Колпенская Н.Н., Низяева И.С., Филатова М.Н. Седиментационные критерии прогноза УВ в юрских отложениях юга Западной Сибири // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: материалы 4-го Всероссийского совещания. - СПб., 2011. - С. 211-213.

Чучалина К.Ю., Казанцев Г.В., Зундэ Д.А. Прогнозирование фациальной изменчивости прибрежно-континентальных отложений на примере пластов Ю2–4 малышевской свиты // Геология нефти и газа. - 2021. - № 6. - С. 73-82. DOI: [10.31087/0016-7894-2020-6-73-82](https://doi.org/10.31087/0016-7894-2020-6-73-82)

Шиманский В.В., Танинская Н.В., Низяева И.С., Колпенская Н.Н., Васильев Н.Я., Шиманский С.В., Мясникова М.А., Зельцер В.Н., Нугуманова А.А., Грислина М.Н. Палеогеографические реконструкции юрских отложений Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2024. - Т.19. - №1. - https://www.ngtp.ru/rub/2024/1_2024.html EDN: [AUQJHF](https://www.edn.ru/entry/10.18599/ngtp.2024.1.10)

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Ильина В.И., Меледина С.В., Гайдебурова Е.А., Дзюба О.С., Казаков А.М., Могучева Н.К. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система - Новосибирск: Изд-во СО РАН «Гео», 2000. - 480 с. EDN: [OCQNXC](https://www.edn.ru/entry/10.18599/ngtp.2000.480)

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 07.03.2025

Published 30.04.2025

Pustovoy D.A., Khafizov S.F.

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia, denis.pustovoy@gmail.com, khafizov@gubkin.ru

LITHOLOGY AND FILTRATION-CAPACITY POTENTIAL OF THE MALYSHEV FORMATION IN THE NORTH OF THE YAMAL PENINSULA

The results of a comprehensive study of the geological structure and formation conditions of terrigenous strata of the Middle Jurassic (Malyshev Formation) within the Poruy swell of the Yamal Peninsula are presented. Based on a detailed analysis of core and geophysical well survey data, a detailed lithological characteristics of this section was carried out, the main lithotypes were identified, their filtration-capacity properties were analysed, and sedimentation conditions were determined.

Keywords: *Malyshev Formation, Middle Jurassic, lithotypes, filtration-capacity properties, sedimentation conditions, Poruy swell, Yamal Peninsula.*

For citation: Pustovoy D.A., Khafizov S.F. Litologiya i fil'tratsionno-emkostnoy potentsial malyshevskoy svity severa Yamal'skogo poluoostrova [Lithology and filtration-capacity potential of the Malyshev Formation in the north of the Yamal Peninsula]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2025, vol. 20, no. 2, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/14_2025.html EDN: QJRFAV

References

Chuchalina K.Yu., Kazantsev G.V., Zunde D.A. Prognozirovaniye fatsial'noy izmenchivosti pribrezhno-kontinental'nykh otlozheniy na primere plastov Yu2-4 malyshevskoy svity [Prediction of facies variability of coastal-continental strata using the example of the Yu2-4 units of the Malyshev Formation]. *Geologiya nefti i gaza*, 2021, no. 6, pp. 73-82. (In Russ.). DOI: [10.31087/0016-7894-2020-6-73-82](https://doi.org/10.31087/0016-7894-2020-6-73-82)

Devyatov V.P., Nikitenko B.L., Shurygin B.N. Paleogeografiya Sibiri v yurskom periode na etapakh osnovnykh perestroek [Paleogeography of Siberia in the Jurassic period during stages of major reorganizations]. *Novosti paleontologii i stratigrafii. Prilozhenie k zhurnalu «Geologiya i geofizika»*, 2011, issue 16-17, vol. 52, pp. 87-101. (In Russ.).

Isakova T.G., Persidskaya A.S., Khotylev O.V., Kotochkova Yu.A., Egorova A.D., D'yakonova T.F., Mozgovoy A.S., Churkina V.V., Kozakov S.V., Kozhevnikova N.V., Livaev R.Z., Druchin V.S., Belov N.V., Kalmykov G.A. Tipizatsiya otlozheniy tyumenskoy svity po stepeni gidrodinamicheskoy aktivnosti usloviy osadkonakopleniya pri sozdaniy petrofizicheskoy modeli i differentsirovannoy interpretatsii geofizicheskikh issledovaniy skvazhin [Tyumen Formation typification based on the degree of hydrodynamic activity of sedimentation conditions for creating a petrophysical model and differentiated interpretation of well logging data]. *Georesursy*, 2022, 24(2), pp. 172-185. (In Russ.). DOI: [10.18599/grs.2022.2.16](https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.16)

Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova S.V., Shurygin B.N., Vakulenko L.G., Gaydeburova E.A., Danilova V.P., Kazanenkov V.A., Kim N.S., Kostyreva E.A., Moskvina V.I., Yan P.A. Paleogeografiya Zapadno-Sibirskogo osadochnogo basseyna v yurskom periode [Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Jurassic period]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 972-1012. (In Russ.). EDN: [RAPIJF](https://www.edn.ru/entry/10.18599/grs.2013.8.972-1012)

Mesezhnikov M.S., Balabanova P.F., Vereninova P.P., Galerkina S.T., Dzhinoridze N.M., Kirina T.I., Kravets V.S., Chirva S.A. Paleogeografiya severa SSSR v yurskom i melovom periodakh [Paleogeography of the North of the USSR in the Jurassic and Cretaceous periods. In Issues of Paleogeography and Paleobiogeography of the Mesozoic of the North of the USSR]. *Voprosy paleogeografii, paleobiogeografii mezozoya severa SSSR*. Leningrad: Nedra, 1971, issue 304, pp. 3-

133. (Trudy VNIGRI). (In Russ.).

Paleogeografiya yury i nizhnego mela Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii: v 2 kn. [Paleogeography of the Jurassic and Lower Cretaceous of the West Siberian petroleum province: In 2 Volumes]. V.V. Shimanskiy, N.V. Taninskaya, I.S. Nizyaeva, N.N. Kolpenskaya, E.G. Raevskaya, N.Ya. Vasil'ev, M.A. Myasnikova, V.N. Zel'tser, M.N. Grislina, I.I. Mirzoeva, A.A. Nugumanova; FGBU «VNIGNI», book 1. St. Petersburg: Renome, 2023, 232 p. (In Russ.).

Shimanskiy V.V., Taninskaya N.V., Nizyaeva I.S., Kolpenskaya N.N., Vasil'ev N.Ya., Shimanskiy S.V., Myasnikova M.A., Zel'tser V.N., Nugumanova A.A., Grislina M.N. Paleogeograficheskie rekonstruktsii yurskikh otlozhenii Zapadnoi Sibiri [Paleogeographic reconstructions of Jurassic strata of Western Siberia]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2024, vol. 19, no. 1, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2024/1_2024.html (In Russ.). EDN: [AUQIHF](#)

Shurygin B.N., Nikitenko B.L., Devyatov V.P., Il'ina V.I., Meledina S.V., Gaydeburova E.A., Dzyuba O.S., Kazakov A.M., Mogucheva N.K. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Yurskaya sistema* [Stratigraphy of petroleum basins of Siberia. Jurassic system]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN «Geo», 2000, 480 p. (In Russ.). EDN: [OCQNXC](#)

Taninskaya N.V., Shimanskiy V.V., Kolpenskaya N.N., Nizyaeva I.S., Filatova M.N. Sedimentatsionnye kriterii prognoza UV v yurskikh otlozheniyakh yuga Zapadnoy Sibiri [Sedimentary criteria for hydrocarbon prediction in Jurassic strata of Southern Western Siberia]. *Yurskaya sistema Rossii: problemy stratigrafii i paleogeografii: materialy 4-go Vserossiyskogo soveshchaniya*. St. Petersburg, 2011, pp. 211-213. (In Russ.).

Vasil'ev N.Ya., Taninskaya N.V., Shimanskiy V.V., Nizyaeva I.S., Kolpenskaya N.N. Sedimentatsionnye modeli nizhnemelovogo neftegazonosnogo kompleksa severa Zapadnoy Sibiri [Sedimentary models of the Lower Cretaceous petroleum structures of Northern Western Siberia]. *Materialy 2-y nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Novosibirsk: SNIIGIMS, 2015, vol. 2, pp. 23-27. (In Russ.).