

УДК 553.98, 551.82

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2026-65-2-35-46

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НЕОДНОРОДНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ БОТУОБИНСКОГО ГОРИЗОНТА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕБОТУОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

Дарья Олеговна Смирнова¹, Роман Сергеевич Сауткин²✉, Михаил Евгеньевич Воронин³, Виталия Валерьевна Чупахина⁴, Алина Владимировна Мордасова⁵, Артем Александрович Верещагин⁶, Евгений Сергеевич Исаев⁷

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; d.smirnova@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/328065500>, <https://orcid.org/0000-0003-1971-9317>

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; r.sautkin@oilmsu.ru ✉, <https://istina.msu.ru/workers/1070293>, <https://orcid.org/0000-0001-5503-9680>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; m.voronin@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/331411243>, <https://orcid.org/0000-0003-0486-8678>

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; v.chupakhina@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/23134184>, <https://orcid.org/0009-0007-4826-1647>

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; a.mordasova@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/5091939>, <https://orcid.org/0000-0003-2472-3652>

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; a.vereshchagin@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/742817520>, <https://orcid.org/0009-0004-6117-5944>

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; e.isaev@oilmsu.ru, <https://istina.msu.ru/workers/354726101>, <https://orcid.org/0009-0005-1208-6512>

Аннотация. Прогноз нефтегазоносности продуктивных горизонтов Сибирской платформы ввиду длительности и сложности ее геологического развития сопряжен не только с выявлением наиболее благоприятных обстановок осадконакопления и анализом влияния первичных факторов на фильтрационно-емкостные свойства пород, но и в значительной степени с поиском сохранившихся участков коллекторов, наименее затронутых последующими преобразованиями. В работе на примере ботубинского горизонта юго-восточной части Среднеботубинского месторождения показано, что первоначально высокие фильтрационно-емкостные свойства, обусловленные формированием отложений в условиях активной гидродинамики берегового склона и песчаной литорали, были изменены вторичными процессами. Методами петрографического анализа, растровой электронной микроскопии, гранулометрии и петрофизических исследований установлено, что наиболее существенное ухудшение коллекторских свойств связано с процессами засоления, регенерации кварца, а также доломитизации, которые наиболее проявились в перспективных крупнозернистых и хорошо сортированных разностях пород. Результаты исследования позволяют выделить зоны, где влияние деструктивных постседиментационных процессов было минимальным, и уточнить критерии прогноза высокопродуктивных коллекторов в сложноустроенных резервуарах древних платформ.

Ключевые слова: ботубинский горизонт, Среднеботубинское месторождение, фильтрационно-емкостные свойства, постседиментационные процессы, прогноз коллекторов

Для цитирования: Смирнова Д.О., Сауткин Р.С., Воронин М.Е., Чупахина В.В., Мордасова А.В., Верещагин А.А., Исаев Е.С. Влияние условий осадконакопления и постседиментационных процессов на неоднородность фильтрационно-емкостных свойств ботубинского горизонта юго-восточной части Среднеботубинского месторождения (Восточная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2026. № 2. С. 35–46.

THE INFLUENCE OF SEDIMENTATION CONDITIONS AND POSTSEDIMENTATION PROCESSES ON THE HETEROGENEITY OF THE FILTRATION-CAPACITIVE PROPERTIES OF THE BOTUOBINSKY HORIZON OF THE SOUTHEASTERN PART OF THE SREDNEBOTUOBINSKOYE FIELD (EASTERN SIBERIA)

Daria O. Smirnova¹, Roman S. Sautkin²✉, Mikhail E. Voronin³, Vitaliya V. Chupakhina⁴, Alina V. Mordasova⁵, Artem A. Vereshchagin⁶, Evgeniy S. Isaev⁷

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; d.smirnova@oilmsu.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; r.sautkin@oilmsu.ru ✉

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; m.voronin@oilmsu.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; v.chupakhina@oilmsu.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; a.mordasova@oilmsu.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; a.vereshchagin@oilmsu.ru

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; e.isaev@oilmsu.ru

Abstract. Forecasting the oil and gas potential of the Siberian Platform's productive horizons is challenging due to its long and complex geologic evolution. This task requires not only identifying the most favorable depositional settings and analyzing how primary factors influence rock porosity and permeability but also, crucially, finding preserved reservoir sections that have undergone minimal post-depositional alteration. This study examines the Botuobinsky Horizon of the Srednebotuobinskoye field, demonstrating that initial high reservoir properties—formed under active hydrodynamics of coastal slope and sandy littoral environments—were significantly altered by secondary processes. Integrated petrographic, SEM, granulometric, and petrophysical analyses reveal that the most substantial degradation resulted from salinization, quartz regeneration, and dolomitization, particularly affecting coarse-grained and well-sorted lithologies. The findings enable identification of zones with minimal postsedimentary alteration and refine predictive criteria for high-quality reservoirs within complex ancient platform sequences.

Keywords: Botuobinsky horizon, Srednebotuobinskoye field, reservoir properties, postsedimentation processes, reservoir forecast

For citation: Smirnova D.O., Sautkin R.S., Voronin M.E., Chupakhina V.V., Mordasova A.V., Vereshchagin A.A., Isaev E.S. The influence of sedimentation conditions and postsedimentation processes on the heterogeneity of the filtration-capacitive properties of the Botuobinsky horizon in the southeastern part of the Srednebotuobinskoye field (Eastern Siberia). *Moscow University Geol. Bull.* 2026; 2: 35–46. (In Russ.).

Введение. Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) горных пород формируются в результате сложного комплекса процессов, начинающихся с осадконакопления и заканчивающихся постседиментационными преобразованиями [Керкис, 1975]. Условия осадконакопления определяют структурно-текстурные, вещественные характеристики пород, формирующие первичную структуру пустотного пространства. В дальнейшем ее изменение может происходить как в сторону улучшения за счет выщелачивания, перекристаллизации и развития трещиноватости, так и в сторону ухудшения вследствие цементации, миграции углеводородных флюидов и флюидов по разломам, а также иных вторичных минеральных преобразований, которые приводят к уменьшению пористости и проницаемости.

ФЕС ботуобинского горизонта, относящегося к нижнебюкской подсвите верхнего венда и сложенного преимущественно кварцевыми песчаниками разной зернистости с незначительной примесью алевролитов, аргиллитов, отличаются большим разбросом значений [Мельников, 2018]. Так, в пределах юго-восточной части Среднеботуобинского месторождения (рис. 1) коэффициент открытой пористости пород изменяется от 0,5 до 22 %, а проницаемость — от 0,01 до 2500 мД.

Ввиду продуктивности ботуобинского горизонта на более чем 10 месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы изучению ФЕС горизонта и влияющих на них факторам посвящено большое количество исследований. Так, согласно Вараксиной с соавторами [2010, 2012], изучавшим ботуобинский горизонт в пределах Среднеботуобинского месторождения, ФЕС горизонта контролируются преимущественно составом обломочной части и типом цемента, а не первичными структурно-текстурными параметрами (размером зерен, степенью их сортировки). Наилучшие коллекторы связаны

с зонами повышенного содержания полевых шпатов (>10 %) и минимальным развитием регенерационного кварцевого и карбонатного цемента (≤ 5 %). При этом авторами отмечается, что засоление не является ключевым фактором, влияющим на ФЕС, ведь содержание галита в породах не превышает 1–2 %. В то же время, Нигаматов с соавторами [2019], изучая ботуобинский горизонт на Чаяндинском месторождении, определили, что основным фактором, ухудшающим ФЕС горизонта, является наличие солей в поровом пространстве пород, распространение солей контролируется тектоническими нарушениями, которые позволяют локализовать зоны с ухудшенными ФЕС. Наличие отличных друг от друга выводов по одним и тем же отложениям, может указывать как на локальную вариабельность процессов, связанную с особенностями истории развития разных территорий, так и на то, что могут существовать иные факторы, определяющие ФЕС ботуобинского горизонта.

Целью данной работы является оценка влияния условий осадконакопления и постседиментационных процессов (включая переформирование залежи) на неоднородность фильтрационно-емкостных свойств ботуобинского горизонта юго-восточной части Среднеботуобинского месторождения. Для чего были реконструированы условия осадконакопления и выделены зоны развития коллекторов с первично лучшими ФЕС. Произведена оценка характера, интенсивности и пространственного распространения основных постседиментационных процессов (засоления, регенерации кварца, карбонатизации) и их влияние на ФЕС. А также изучено влияние переформирования залежи на особенности проявления вторичных процессов и ухудшение ФЕС.

Методы исследования и данные. Для определения интервалов и зон развития первичных лучших коллекторов ранее [Смирнова и др., 2025] была про-

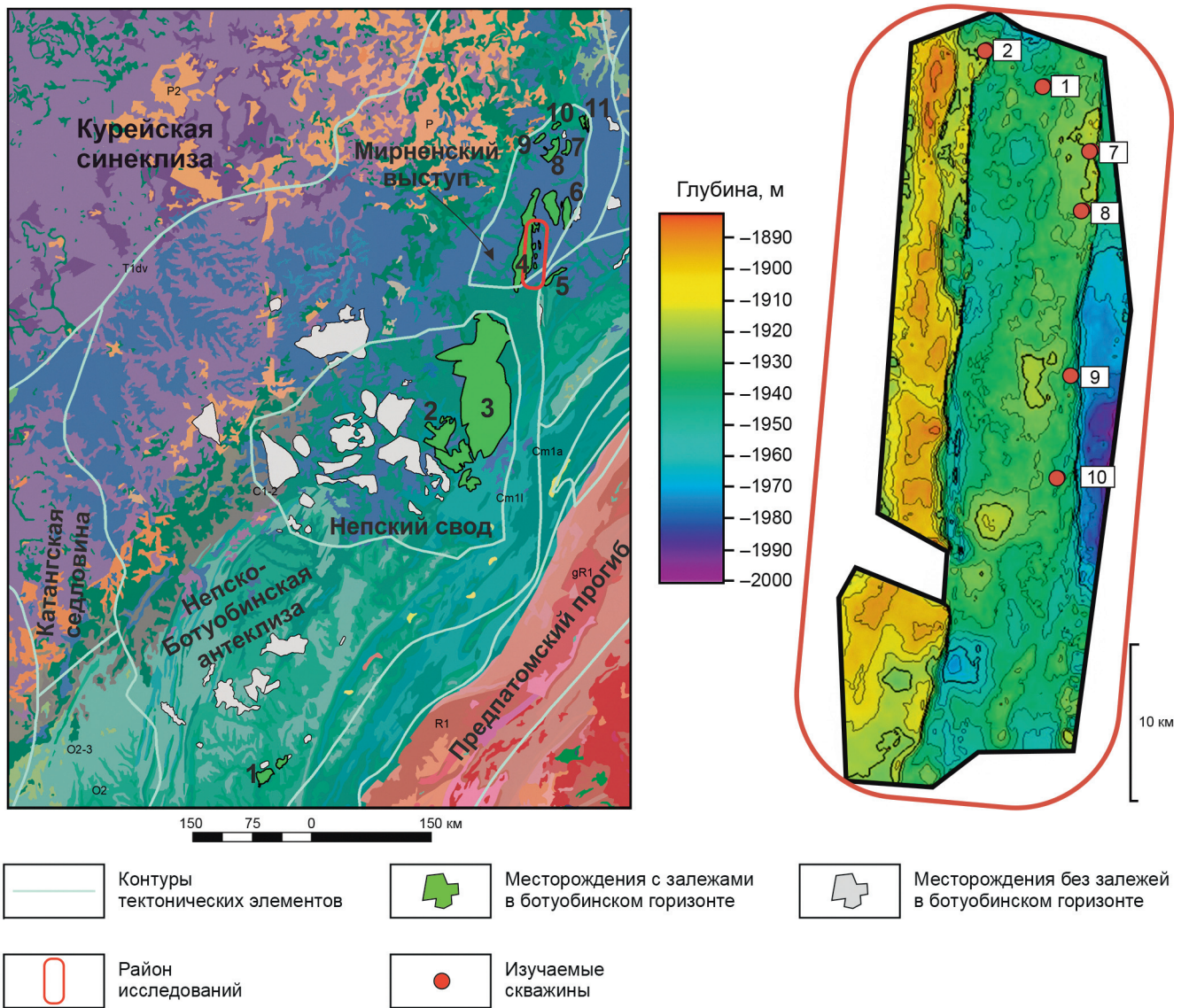


Рис. 1. Структурная карта по кровле ботубинского горизонта в пределах района исследования с положением изучаемых скважин и геологическая карта [Геологическая..., 2004 с изменениями] с выделенными месторождениями, в пределах которых ботубинский горизонт является продуктивным: 1 — Марковское, 2 — Талаканское, 3 — Чайандинское, 4 — Среднеботубинское, 5 — Хотого-Мурбайское, 6 — Тас-Юряхское, 7 — Нелбинское, 8 — Мирнинское, 9 — Мачобинское, 10 — Иреляхское, 11 — Станяхское

ведена реконструкция условий осадконакопления, выделены циклиты, характеризующиеся последовательной сменой фаций и структурно-текстурными особенностями, соответствующими последним. В настоящем исследовании для определения влияния на ФЕС ботубинского горизонта первичных структурно-вещественных характеристик был проведен гранулометрический анализ пород, изучены шлифы в проходящем свете, образцы в растровом электронном микроскопе (РЭМ). Полученные данные в комплексе с ранее проведенным литолого-фаціальным анализом и анализом открытой пористости и проницаемости на образцах после последовательной экстракции и обессоливания позволили выделить интервалы и зоны развития изначально лучших коллекторов.

Для учета влияния постседиментационных процессов на ФЕС ботубинского горизонта в шлифах и образцах в РЭМ был определен состав и тип

цемента, отмечены особенности проявления засоления, регенерации кварца, доломитизации, ангидритизации. Далее выполнялась количественная оценка влияния вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства путем сравнения измерений открытой пористости и проницаемости на трех группах образцов: до экстракции, после экстракции битумоидов органическими растворителями, а также после последовательной экстракции и обессоливания. Дополнительно анализировались долевое участие поровых каналов в фильтрации и объем поровых каналов в зависимости от размера пор по разным группам пород, в которых вторичные процессы проявились определенным образом.

Чтобы учесть влияние тектонического фактора на ФЕС были использованы структурные карты ботубинского горизонта, построенные по материалам 3D-сейсморазведки, на которых были выделены ос-

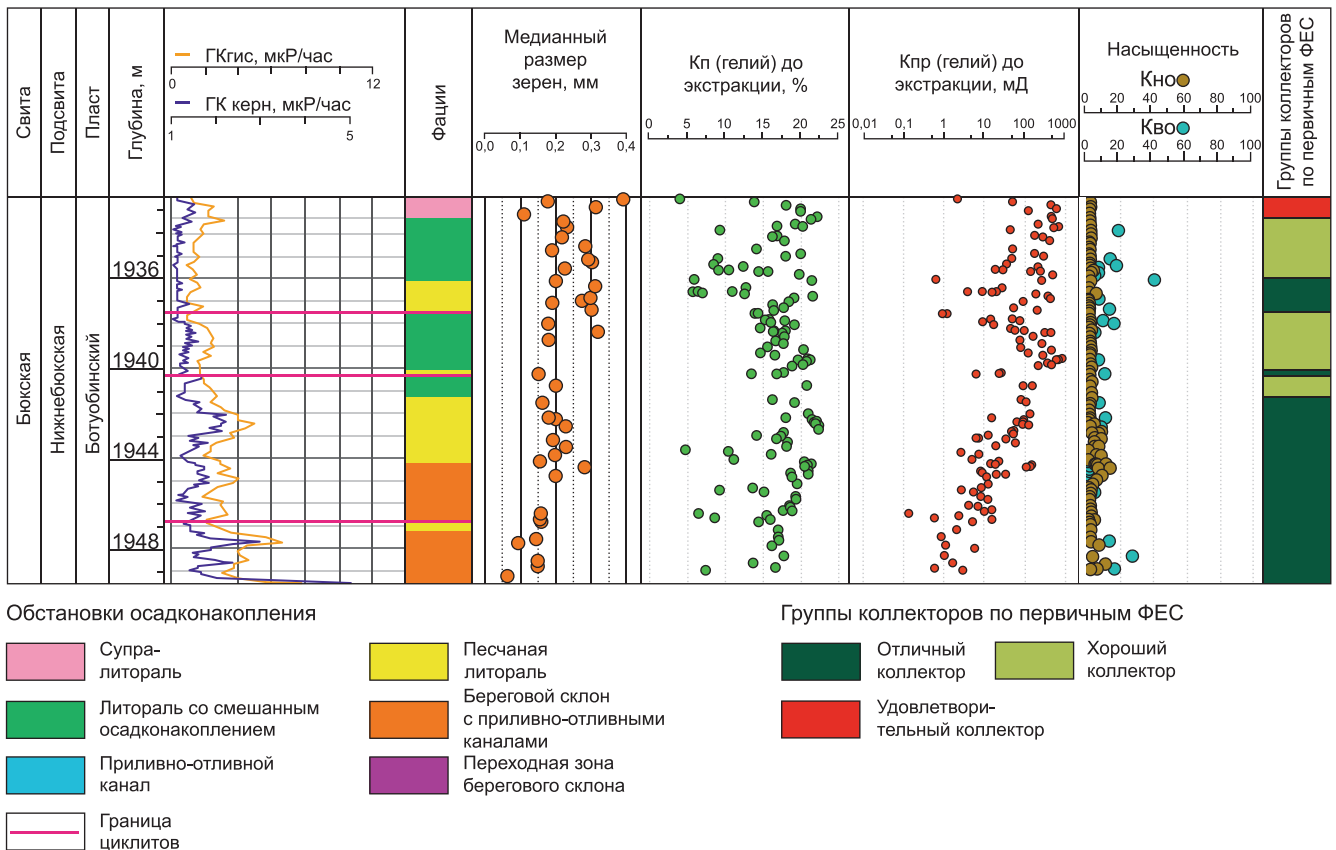


Рис. 2. Пример характера изменения пористости, проницаемости, гранулометрического состава, фаций и групп коллекторов по первичным ФЕС по одной из скважин Среднеботубинского месторождения

новые разломы в пределах изучаемой территории. Для учета влияния фактора переформирования залежей на ФЕС ботубинского горизонта отмечались особенности распространения битумов в шлифах и керне, замеры коэффициента остаточной нефтенасыщенности, информация о притоках в скважинах, кроме того, была использована принципиальная модель формирования ботубинской залежи Среднеботубинского месторождения [Сауткин и др., 2025], построение которой проводилось путем палеоструктурных реконструкций.

В основу исследования лег керновый материал из 6 скважин юго-восточной части Среднеботубинского месторождения, а также фотографии, литологическое описание, петрографические шлифы, результаты петрофизических исследований, гранулометрического и рентгенофазового анализа (РСА), рентгенофлуоресцентной спектрометрии (РФА) и РЭМ по образцам из скважин и результаты интерпретации 3D-сейсморазведки.

Результаты исследования. Выделение интервалов с первично лучшими ФЕС и седиментационный контроль ФЕС в настоящее время. Отложения ботубинского горизонта формировались в прибрежно-морских условиях побережья приливно-отливного типа, на что указывают наличие в породах косослоистых текстур разной ориентировки, текстуры оползания, пятна синседиментационного ангидрита, характерного для фаций супралитерали [Жемчугова, 2014].

В пределах юго-восточной части Среднеботубинского месторождения было выделено шесть литофаций, которые вверх как по разрезу, так и в пределах циклов отражают последовательное изменение обстановок осадконакопления от наиболее глубоководных к мелководным — от переходной зоны берегового склона к супралитерали (рис. 2).

Отложения фации переходной зоны берегового склона представлены тонко-мелкозернистыми песчаниками алевритистыми часто с глинистыми прослоями. Средний размер зерен этой фации 0,15–0,21 мм, но ввиду преобладания тонкослоистой, градационной и конволютной текстур в отложениях породы переходной зоны берегового склона крайне неоднородны (рис. 3). Отложения фации берегового склона сложены крупно-среднезернистыми песчаниками с косой однонаправленной или горизонтальной текстурами. Их отличает хорошая сортировка и в целом хорошая окатанность зерен. Медианный размер зерен этой фации 0,15–0,33 мм. Породы фации песчаной литерали отличаются разнозернистостью, но в общем преобладают средне-мелкозернистые разности, часто с примесью алевритового материала. Характерным признаком этой фации является косая разнонаправленная слоистость. Медианный диаметр зерен этой фации 0,18–0,35 мм, сортировка отложений средняя. Породы фации литерали со смешанным осадконакоплением представлены крупно-среднезернистыми песчаниками часто с при-

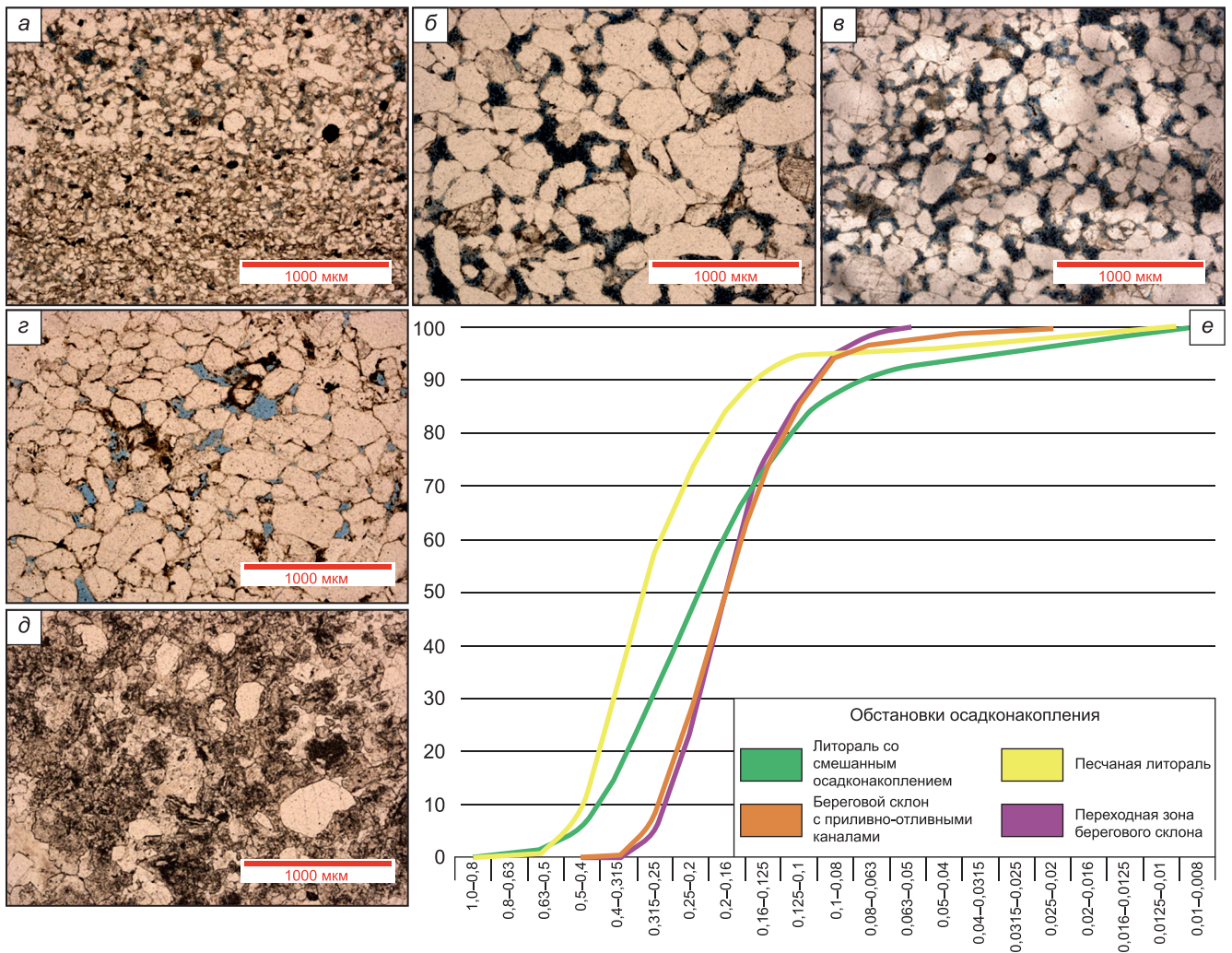


Рис. 3. Характерные шлифы (а-д) и кумулятивные кривые (е) литофаций ботубинского горизонта. а — переходной зоны берегового склона (ПБС), б — берегового склона (БС), в — песчаной литорали (ПЛ), г — литорали со смешанным осадконакоплением (ЛСО), д — супралиторали (СП)пп коллекторов по первичным ФЕС по одной из скважин Среднеботубинского месторождения

месью алевритового вещества, их отличает плохая сортировка зерен и наличие глинистых прослоев. Медианный размер зерен — 0,19–0,33 мм. Супралиторальные отложения характеризуются в целом плохой сортировкой материала, алевро-гравийно-песчаным составом и наличием ангидритовых стяжений, свидетельствующих об аридных условиях седиментации. Супралиторальные отложения распространены преимущественно в кровле ботубинского горизонта. Отложения приливо-отливных каналов могут нарушать общую последовательность фаций, они представлены мелко-среднезернистыми песчаниками с массивной, горизонтально-слоистой текстурой, а также крупной косой текстурой, часто в основании фации наблюдаются эрозионные врезы и обломки нижележащих пород.

Данная литофациальная последовательность отражает в среднем увеличение размерности зерен от наиболее глубоководных к мелководным фациям, что может быть объяснено как близостью суши, так и не самой активной гидродинамикой среды, в которой формировались отложения супралито-

рали, литорали со смешанным осадконакоплением и песчаной литорали. Наиболее сортированные отложения формировались в условиях берегового склона, а также переходной зоны берегового склона и приливо-отливных каналов — в обстановках с активной гидродинамикой среды. Однако отложения последних двух фаций нельзя назвать достаточно однородными. Так по приливо-отливным каналам мог поступать как крупнозернистый материал, разносимый сильными и мощными потоками с близлежащей суши, так и мелкозернистый материал, поступавший во время трансгрессии береговой линии и действия слабых потоков. Аналогичная история с разным характером поступающего материала может быть характерна и для отложений берегового склона.

Под первичными ФЕС в данной работе понимаются фильтрационно-емкостные свойства, которые сформировались исключительно под влиянием седиментационных факторов (гранулометрический состав, сортировка, окатанность зерен, первичная структура порового пространства) до начала существенных постседиментационных преобразований.

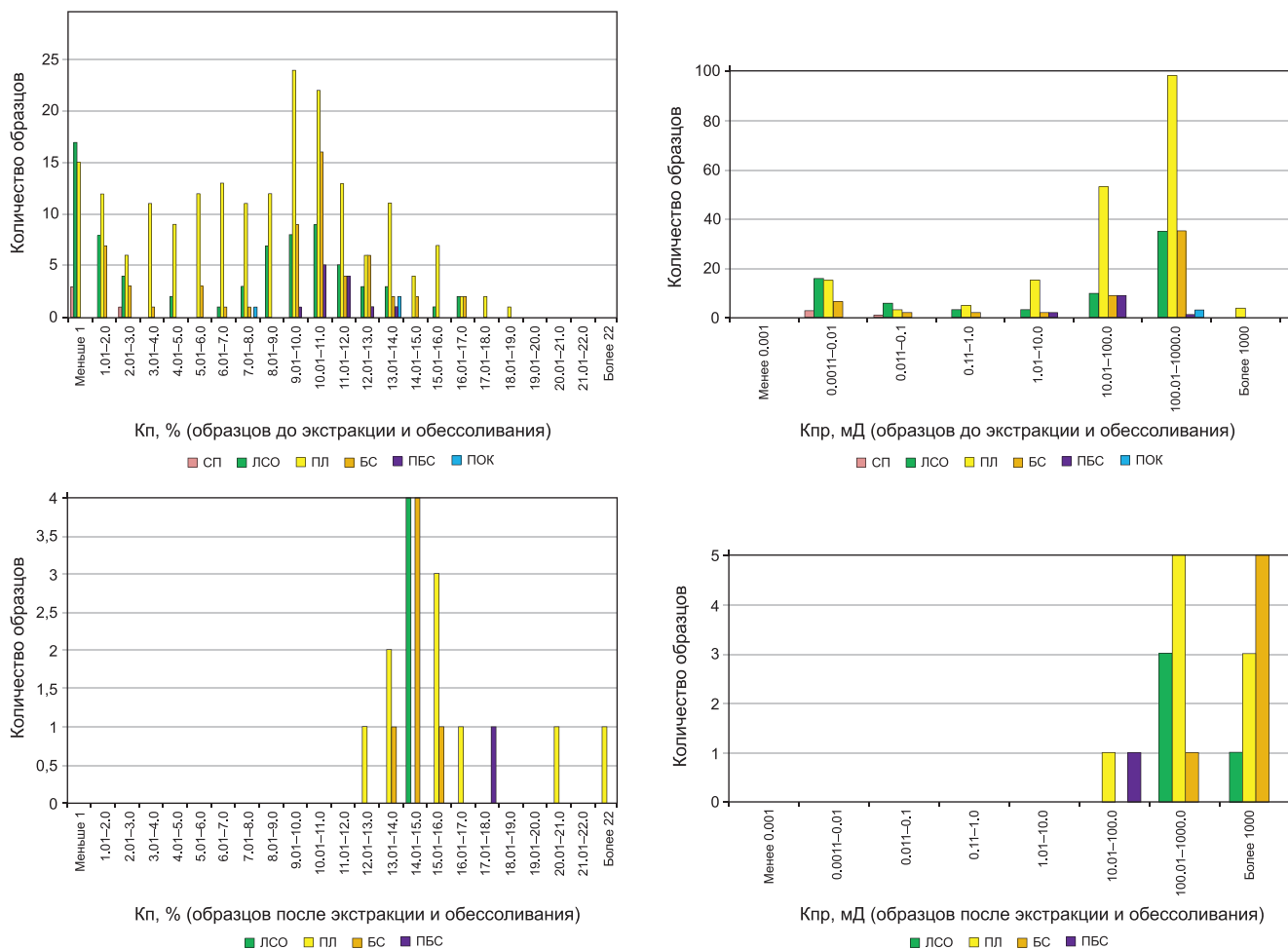


Рис. 4. Графики распределения значений коэффициента открытой пористости (слева) и коэффициента проницаемости (справа) на образцах до экстракции и обессоливания (сверху) и на образцах после экстракции и обессоливания (снизу)

На основе комплексного анализа были выделены предполагаемые группы коллекторов, обладающие различными первичными ФЕС (рис. 2):

- отличные коллекторы, которым соответствуют хорошо сортированные среднезернистые отложения берегового склона и песчаной литорали;

- хорошие коллекторы, которым отвечают среднесортированные песчаники с примесью алевритистого вещества фаций переходной зоны берегового склона, приливно-отливных каналов и литорали со смешанным осадконакоплением;

- удовлетворительные коллекторы, которые представлены плохо сортированными алевро-гравийно-песчаные отложениями супралиторали.

Исходя из этой логики, лучшие ФЕС в пределах ботубинского горизонта должны быть характерны для нижней и средней частей разреза.

В настоящее время лучшие ФЕС ботубинского горизонта наблюдаются только в его средней части (рис. 2). Проницаемость в среднем увеличивается вверх по разрезу, так же как и растет медианный размер зерен. Характер же изменения пористости намного сложнее — ее минимальные значения находятся в подошве и кровле горизонта, а максимум приходится на среднюю часть разреза, впрочем даже

в ее пределах наблюдаются локальные минимумы, которые могут как отвечать границам циклов, например, на глубине 1937,5, 1946,8, так и наблюдаться вне границ в пределах интервалов единых фаций — 1943,7 м (рис. 2).

Что касается фаций, то сейчас в среднем лучшие ФЕС характерны для отложений песчаной литорали, берегового склона и литорали со смешанным осадконакоплением (рис. 4). При этом для всех них по образцам до экстракции и обессоливания характерно бимодальное или пилообразное распределение с максимумами концентрации образцов в зонах значений пористости 4% и менее, а также 9–14%, и проницаемости — 0,001–0,01 м Д и 100–1000 мД. При этом большее количество образцов пород, формировавшихся в условиях литорали со смешанным осадконакоплением, приурочено к минимальным значениям, а песчаной литорали и берегового склона — к более высоким. После экстракции и обессоливания ФЕС пород улучшаются — в среднем коэффициент открытой пористости составляет 13–16%, а проницаемость увеличивается вплоть до значений более 1000 мД. Исходя из этого можно сделать вывод, что даже в настоящее время ФЕС отложений берегового склона и песчаной литорали являются одними

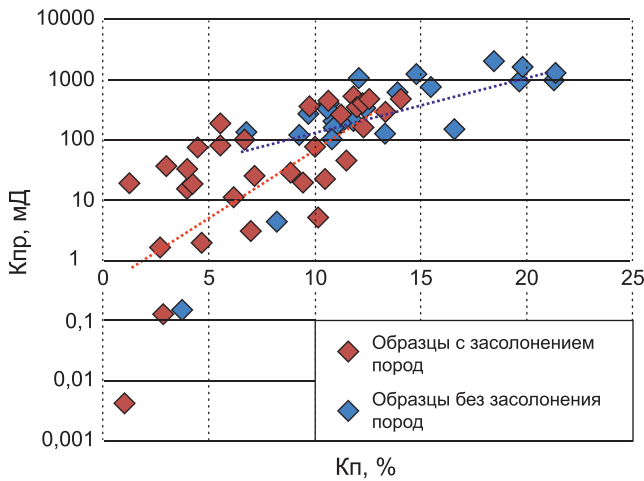


Рис. 5. График зависимости коэффициента проницаемости от коэффициента открытой пористости для образцов ботубобинского горизонта с проявленным засолением и без него. Образцы с засолением характеризуются в целом более плохими ФЕС относительно образцов без засоления

из лучших, но также они оказываются таковыми и для отложений литорали со смешанным осадконакоплением. Проблемой прогноза ФЕС на основании первичного структурно-текстурного и глобально седиментационного факторов является развитие в пределах ботубобинского горизонта разнообразных вторичных процессов, ухудшающих ФЕС.

Вторичные процессы в пределах ботубобинского горизонта и их влияние на ФЕС. В пределах юго-восточной части Среднеботубобинского месторождения наиболее распространены вторичные процессы засоления, регенерации кварца, карбонатизации (кальцитизации и доломитизации), растворения и преобразования полевых шпатов.

Как уже ранее было отмечено, влияние на ФЕС ботубобинского горизонта засоления оценивается по-разному: от признания засоления основным фактором, ухудшающим ФЕС пород [Нигаматов и др., 2019], до отрицания влияния на ФЕС солей ввиду их малого содержания в породах [Вараксина и др., 2010, 2012]. Как показали наши исследования, в пределах юго-восточной части Среднеботубобинского месторождения засоление является одним из основных факторов, который привел к ухудшению значений пористости и проницаемости (рис. 5). Образцы с галитом имеют открытую пористость 1–14% с преобладанием значений ниже 10%, в то время как в образцах без галита пористость составляет 10–22%. Проницаемость образцов с проявленным засолением также ниже, чем в образцах без него — в среднем на 1–3 порядка.

При этом интересно заметить, что характер распространения засоления в породах разный: от «повсеместного» засоления, когда по факту цемент в породе является галитовым, до отсутствия засоления как такового. Особый интерес также представляют образцы с «очаговым» засолением. Каждой из этих групп характерны свои значения ФЕС,

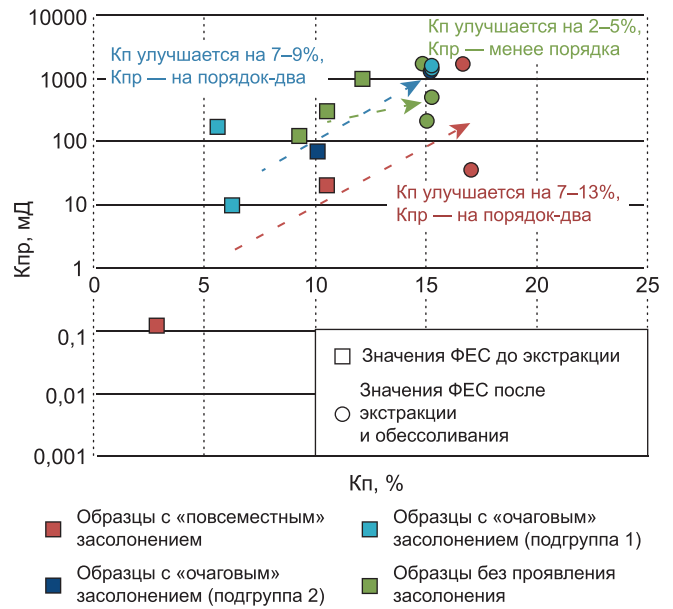


Рис. 6. График зависимости коэффициента проницаемости от коэффициента открытой пористости для образцов пород ботубобинского горизонта с разной степенью засоления

а также определенные особенности их улучшения после экстракции и обессоливания пород (рис. 6).

В образцах с повсеместным засолением преобладают малые поры (менее 0,08 мкм; 26% от всех пор в породе), однако основной вклад в фильтрацию вносят каналы размером 9,41–22,7 мкм и 22,7–55,18 мкм (суммарно 31% порового пространства, но около 95% вклад в фильтрацию). Напротив, в образцах, где отсутствует галит, преобладают крупные поры (>55,18 мкм; 34%), на которые приходится свыше 80% участия пор в фильтрации.

Образцы с очаговым засолением (неполным заполнением пор галитом) после процедуры обессоливания демонстрируют значительный прирост ФЕС: увеличение пористости на 7–9%, а проницаемости — на один-два порядка (рис. 6). По своим характеристикам эти образцы были разделены на две подгруппы. Подгруппа 1 по распределению пор ближе к образцам с повсеместным засолением: высокая доля мелких пор (<0,08 мкм; 14%) при значительном участии в фильтрации каналов 22,7–55,18 мкм (рис. 7). Подгруппа 2 более сходна с незасоленными породами: доля крупных пор (>55,18 мкм) на 9% выше, а мелких (<0,08 мкм) на 7% ниже, чем в первой подгруппе. Данные подгруппы выделяются в разных скважинах и в разных типах отложений, но интересно заметить, что ФЕС пород этих подгрупп после экстракции и обессоливания для образцов оказываются крайне схожими (коэффициент пористости — 15%, проницаемость 1300–1500 мД) (рис. 6).

Анализ зависимости от коэффициента сортировки отложений ботубобинского горизонта отношения значений коэффициента открытой пористости, измеренного на образцах после экстракции и обессоливания, к значениям коэффициента открытой

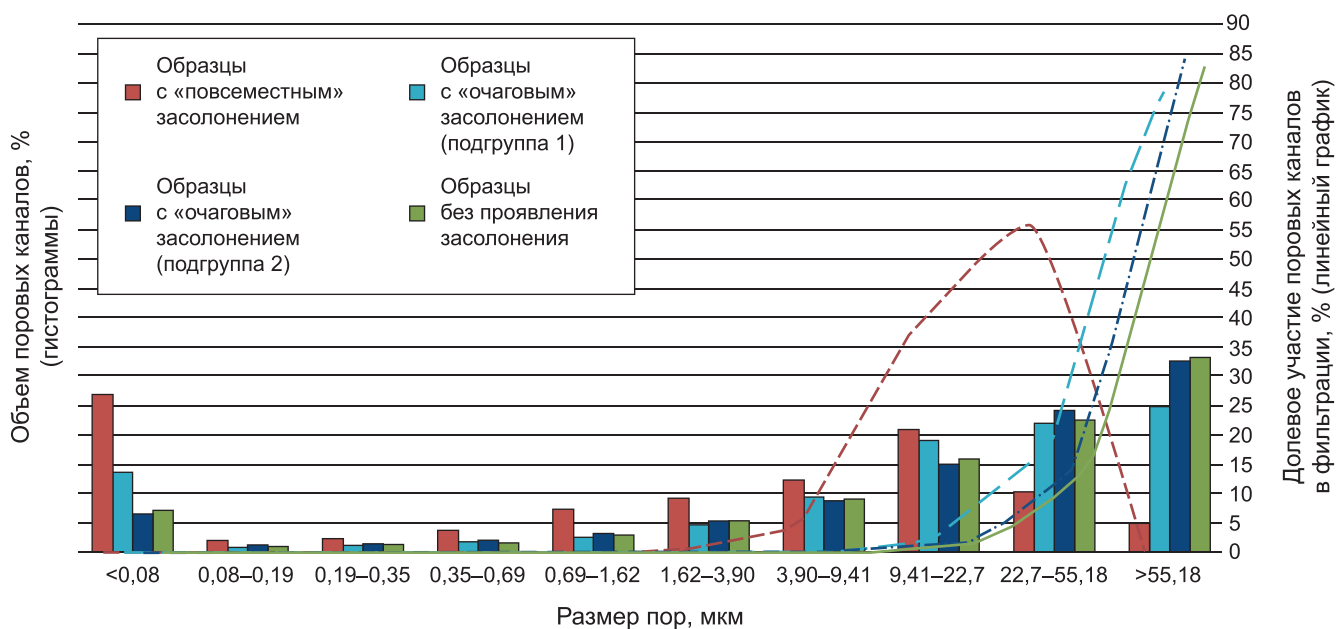


Рис. 7. Объем поровых каналов и их доленое участие в фильтрации для образцов пород ботубобинского горизонта с разной степенью засоления

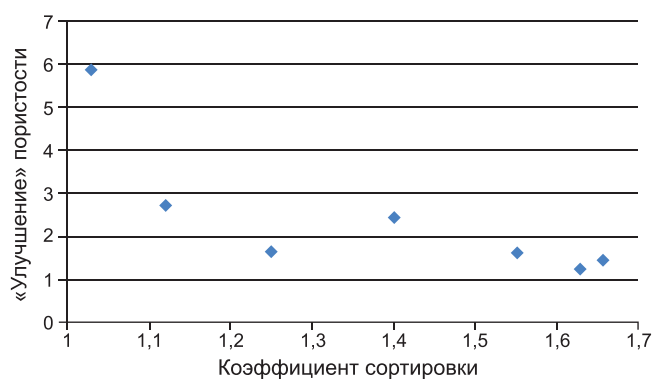


Рис. 8. График зависимости улучшения пористости от коэффициента сортировки отложений ботубобинского горизонта

пористости, измеренного на образцах до экстракции и обессоливания (данный параметр был назван «улучшением» пористости) (рис. 8), показал, что чем лучше была сортировка отложений, тем больше в них проявились процессы засоления. В породах с хорошей сортировкой поровые каналы более однородны по размеру, и потому галит распространен в них более равномерно, а его удаление дает значительный прирост в значениях пористости. К тому же анализируя крайне малое доленое участие в фильтрации образцов с «повсеместным» засолением наиболее крупных пор размером более 55,18 мкм, преобладающих в остальных группах с очаговым засолением и без (рис. 7), можно сделать вывод, что именно наиболее крупные поры в породах с «повсеместным» засолением заполнены галитом, что в целом приводит к значительному ухудшению открытой пористости.

В то же время сортировка отложений не оказывает столь значительного влияния на проницаемость, но последняя очень зависит от медианного размера

зерен, что видно даже по общему тренду изменения медианного размера зерен и значений проницаемости до экстракции и обессоливания (рис. 3). При этом следует особенно подчеркнуть, что чем больше медианный диаметр зерен в породах, тем больше увеличение проницаемости, что было показано уже ранее [Смирнова и др., 2025].

Таким образом, засолению пород в пределах ботубобинского горизонта более подвержены хорошо сортированные крупнозернистые и среднезернистые породы, первоначально обладавшие лучшими ФЕС. И именно поэтому ухудшение ФЕС, связанное с образованием галита чаще наблюдается в отложениях берегового склона, песчаной литорали в средней части ботубобинского горизонта (рис. 3). В то же время плохая сортировка и малый медианный размер зерен, стали своего рода «защитой» от негативного влияния на ФЕС галита.

Продолжая тему особенностей распространения галита в отложениях ботубобинского горизонта нельзя не упомянуть тот факт, что он по-разному формируется в гидрофобных и гидрофильных коллекторах. В гидрофобных коллекторах галит в первую очередь образуется на стенках пор, полностью закупоривая их, в то время как в гидрофильных коллекторах соль образует мелкие кристаллы или комочки в поровом пространстве, плавающие в поровом флюиде и способные фильтроваться по пласту [Городнов и др., 2012, Шубин, Рыжков, 2013]. В пределах одной и той же скважины, но на разных уровнях в породах ботубобинского горизонта были отмечены проявления галита, характерные как для гидрофобного коллектора (рис. 9, а), так и для гидрофильного (рис. 9, б).

Первый образец (рис. 9, а) демонстрирует признаки гидрофобного коллектора с каркасным гали-

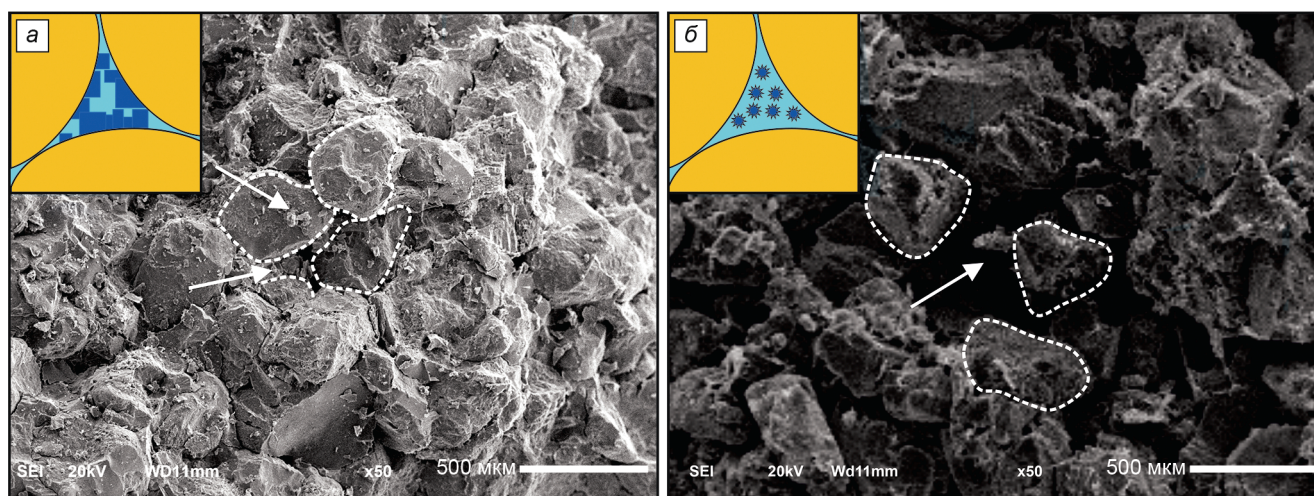


Рис. 9. Снимки РЭМ образцов гидрофобного (а) и гидрофильного (б) коллекторов и модели характера заполнения пор солью в случае гидрофильных и гидрофобных пород по [Шубин, Рыжиков, 2013]

товым цементом и полным заполнением галитом пор, которые в пределах образца замкнутые, зацементированные. Из-за этого ФЕС образца крайне низкие: K_p — 2,82 %, $K_{пр}$ — 0,124 мД. В то же время, второй образец (рис. 9, б) соответствует гидрофильному коллектору, в котором цемент уже глинисто-гидрослюдистый с примесью доломита и ангидрита и слабым засолением, а поры в образце открытые, сообщающиеся, что сохраняет более высокие ФЕС (K_p — 10,5 %, $K_{пр}$ — 21,2 мД). Наличие в пределах одной и той же скважины и одного образца галита и ангидрита не случайно, ведь они имеют общий источник и являются компонентами одного и того же насыщенного солевого раствора. Интересно также заметить, что и доломит в образце появился тоже не случайно — его проявления часто связаны с разломами, вблизи которых и расположена скважина 9.

Влияние переформирования залежи на ФЕС коллекторов. Существует большое количество гипотез о причинах засоления коллекторов на территории Сибирской платформы: влияние траппов [Городнов и др., 2012], понижение температур во время общих подъемов территории платформы и эпох оледенений [Анциферов, 2003] и др. Но в целом исследователями признается, что основным источником солей являются мощные соленосные толщи кембрийского возраста, рассолы из которых по разломам в результате действия термобарического метаморфизма (нагрева и общего повышения давления) мигрировали в нижележащие отложения, где позже происходила кристаллизация солей (сначала кристаллизовался ангидрит, потом галит) [Воробьев, Клиновская, 2017]. Авторы статьи считают, что выпадение солей происходило в основном за счет падения давлений и уменьшении температур на глубине в моменты общего воздымания территории и перестройки структурного плана, которые и повлияли на изменение термодинамического равновесия [Дюнин, Корзун, 2005]. Основная структурная перестройка в пределах исследуемой территории произошла на

границе девонского и каменноугольного периодов [Никишин и др., 2010].

На факт того, что исследуемая территория располагалась ранее на больших глубинах, чем в настоящее время, могут указывать характерные категенические преобразования пород. Согласно данным по РСА глин для скважины 8 (рис. 10) в породах ботубинского горизонта встречаются только гидрослюды (ГС) и смешаннослойные образования гидрослюдисто-монтмориллонитового ряда (ССО). Последние, характеризуются набухаемостью не более 20 % (в среднем 10 %). Соотношение в терригенных породах гидрослюды и монтмориллонита (М) может указывать на стадии катагенеза [Сафронов, Инвенсен 1996]. Так, отсутствие в породах монтмориллонита указывает на стадии $МК_{3-4}$. Но ССО представляют собой минералы, в которых чередуются слои гидрослюды и монтмориллонита, и чем больше доля монтмориллонитовых прослоев, тем выше набухаемость. Набухаемость ССО в пределах ботубинского небольшая (до 18 %), но тем не менее она есть, а потому стадия катагенеза отложений ботубинского горизонта может быть установлена как $МК_2/МК_3$. Преимущественно конформные и местами инкорпорационные структуры и примесь хлорита в поровом цементе пород ботубинского горизонта также указывают на стадию $МК_2$ (начало $МК_3$). Следовательно, с учетом среднего геотермического градиента, характерного для древней платформы, ранее ботубинский горизонт был погружен на большую глубину ~2,7 км (современная абсолютная глубина ботубинского горизонта ~1,6 км).

Факт наличия переформирования залежей подтверждается тем, что в скважинах, из которых были получены притоки воды и газа, наблюдаются битумы в шлифах и керне, а также высокие значения коэффициента остаточной нефтенасыщенности, причем часто они есть ниже современного водонефтяного контакта (ВНК), что также может указывать на то, что раньше залежь в пределах юго-восточной части

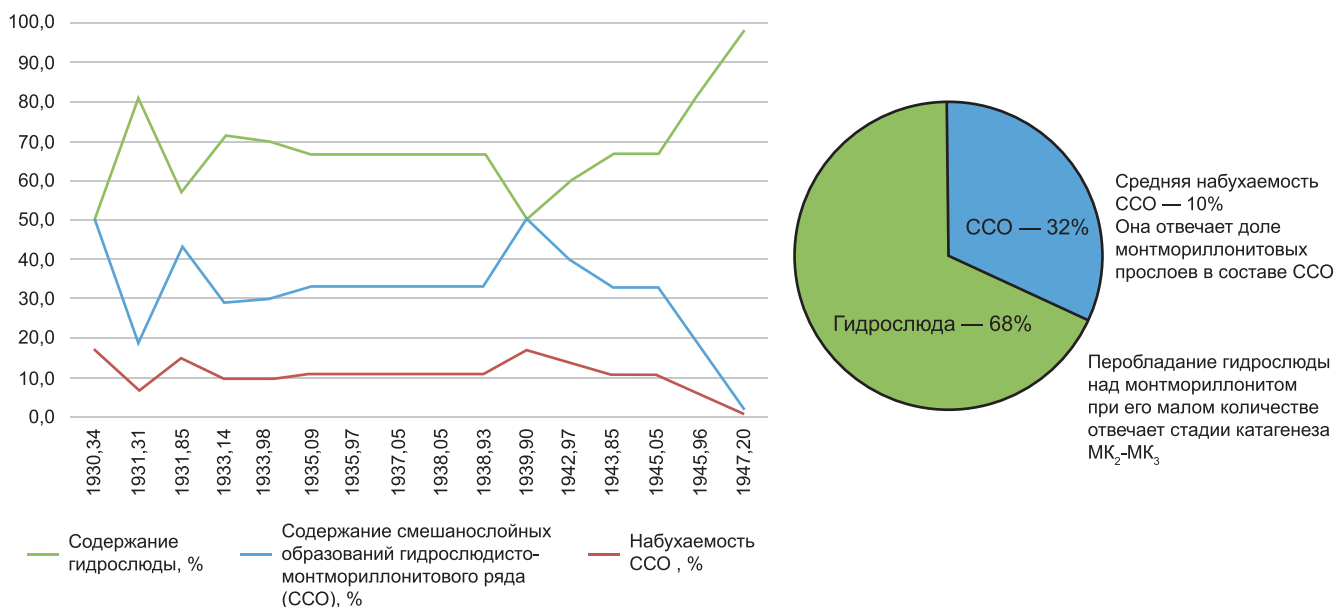


Рис. 10. Графики содержания гидрослюдя, ССО и набухаемости ССО в породах ботуобинского горизонта 8 скважины

Среднеботуобинского месторождения имела иную конфигурацию.

На переформирование залежей может указывать и регенерация кварца, которая в значительной степени проявлена в породах ботуобинского горизонта юго-восточной части Среднеботуобинского месторождения и также оказывает влияние на ФЕС. Регенерация кварца проявилась в породах с разной степенью интенсивности от почти отсутствующей до сильной. При этом между этими крайними вариантами в пределах разреза наблюдаются плавные переходы. В двух скважинах, вскрывших ботуобинский горизонт было выявлено несколько уровней с сильной степенью регенерации кварца (рис. 11). Предположительно, этим уровням отвечают уровни палео-ВНК, также повышенная регенерация кварца наблюдается в пределах современного ВНК. Интересно также заметить, что ниже выделенных уровней с высокой регенерацией кварца наблюдается общее ухудшение ФЕС пород, часто сопровождающееся галитизацией. Выравнивание скважин согласно современному структурному плану позволило проследить общий уровень ухудшения ФЕС вблизи современного ВНК. В то время как выравнивание скважин на палеоструктурный план, отвечающий времени формирования палеозалежи, позволило выделить палео-ВНК и проследить общий уровень ухудшения ФЕС горизонта, соответствующий ему. Выше наиболее глубокого палео-ВНК наблюдаются гидрофобные коллектора, а ниже — гидрофильные (рис. 9).

Заключение. На основе комплекса литолого-петрофизических, минералого-геохимических и седиментологических исследований ботуобинского горизонта юго-восточной части Среднеботуобинского месторождения установлены основные факторы, контролируемые неоднородность его фильтрационно-емкостных свойств.

Первичные ФЕС отложений ботуобинского горизонта были заложены в прибрежно-морских условиях приливно-отливного типа. Лучшим потенциалом изначально обладали хорошо сортированные крупнозернистые песчаники фаций берегового склона, а также среднезернистые отложения песчаной литорали.

Основным фактором, ухудшившим ФЕС пород на изученной территории, является засоление, проявление которого имеет избирательный характер и наиболее интенсивно выражено в первоначально лучших коллекторах — хорошо сортированных крупнозернистых и среднезернистых разностях пород. Плохо сортированные мелкозернистые породы в меньшей степени были подвержены засолению, а потому в большей степени сохранили первичные ФЕС.

Засоление контролируется как тектоническим фактором, т.е. близостью к разломам, так и палеотектоническим, палеогидрогеологическим факторами, так как зоны ухудшения ФЕС коррелируют с положением палео- и современного ВНК и находятся ниже них.

В зависимости от положения пород ботуобинского горизонта в разрезе относительно палео-ВНК характерен разный тип коллектора и разный характер засоления: выше палео-ВНК коллектор гидрофобный, засоление часто повсеместное, ниже палео-ВНК коллектор гидрофильный, а засоление не повсеместное и часто сопряжено с ангидритом. В случае гидрофильного коллектора, кристаллы и комочки соли формируются в поровом пространстве, где они плавают в поровом флюиде, а в случае гидрофобного — кристаллы соли формируются на поверхности поровых каналов и могут полностью запечатывать поровое пространство.

Таким образом, прогноз ФЕС в вендских терригенных отложениях Сибирской платформы требует

не только анализа седиментационных моделей, но и обязательной комплексной оценки истории постседиментационных преобразований, контролируемых зачастую тектоническим и палеотектоническими факторами.

Результаты исследований получены при помощи оборудования, приобретенного по программе развития Московского университета: автоматизированная система для исследования фильтрационно-емкостных свойств керн при двухфазной фильтрации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анциферов А.С. Метаморфизм рассолов и засоление коллекторов нефти и газа Лено-Тунгусской нефтегазодной провинции // Геология и геофизика. 2003. № 6. С. 499–510.

Вараксина И.В., Хабаров Е.М., Кротова М.М. Особенности строения порового пространства вендского терригенного коллектора Среднеботуобинского месторождения // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2010. № 1. С. 117–121.

Вараксина И.В., Хабаров Е.М., Пушкарева М.М. Влияние структурно-сещественных параметров на фильтрационно-емкостные свойства пород ботуобинского горизонта венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2012. № 1(9). С. 67–74.

Воробьев В.С., Клинов Я.С. Причины засоления терригенных пород в пределах Верхнечонского месторождения (Восточная Сибирь) // Газовая промышленность. 2017. № 4(751). С. 36–43.

Городнов А.В., Черноглазов В.Н., Давыдова О.П. Определение фильтрационно-емкостных свойств засоленных коллекторов в терригенных отложениях Непского свода Восточной Сибири // Каротажник. 2012. № 12(222). С. 26–41.

Дюнин В.И., Корзун А.В. Гидрогеодинамика нефтегазодных бассейнов. – М.: Научный мир, 2005. 524 с.

Жемчугова В.А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем: Учебное пособие для вузов. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 341 с., ил.

Керкис Е.Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. Л.: Недра, 1975. 231 с.

в кислотостойком исполнении (СМП-ФЕС2А); автоматизированная система измерения проницаемости (ПИК-НАНО-СФ); ядерно-магнитный релаксометр (ITMR-10).

Финансирование. Работа выполнена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ в рамках госбюджетной темы «Изучение углеводородных ресурсов морских акваторий и Арктического региона Российской Федерации», номер ЦИТИС АААА-А16-116033010095-1.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. (Стратиграфия, история развития). 2-е изд., доп. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. 177 с.

Нигаматов Ш.А., Исмаилова Л.Р., Бощенко А.Н. Прогнозирование зон засоления песчаников ботуобинского горизонта на примере Чаяндинского месторождения (Восточная Сибирь) // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2019. № 3. С. 35–40.

Никишин А.М., Соборнов К.О., Прокопьев А.В., Фролов С.В. Тектоническая история Сибирской платформы в венде-фанерозое // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 1. С. 3–16.

Сауткин Р.С., Ступакова А.В., Краснова Е.А. и др. Формирование месторождений нефти и газа древних нефтегазодных бассейнов (Восточная Сибирь) // Георесурсы. 2025. № 27(2). С. 161–173.

Сафронов А. Ф. Ивенсен Г. В. Породы-коллекторы Предверхоаянского краевого прогиба. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1996. 96 с.

Смирнова Д.О., Мордасова А.В., Коробова Н.И. и др. Литолого-фациальные особенности ботуобинского горизонта юго-восточной части Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения (Восточная Сибирь) // Георесурсы. 2025. № 27(2). С. 151–160.

Шубин А.В., Рыжков В.И. Изучение эффекта засоления порового пространства терригенного коллектора по сейсмическим данным // Геофизика. 2013. № 5. С. 17–25.

Статья поступила в редакцию 12.09.2025,
одобрена после рецензирования 12.11.2025,
принята к публикации 24.04.2026