

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.18-40>

УДК 552.54

Литологическое строение осинского подгоризонта и выявление перспективных зон развития коллекторов по методике Дж. Лусиа на примере Среднеботуобинского месторождения

¹Максимова Е.Н., ¹Чертина К.Н., ¹Бобылев К.Д., ¹Зюзев Е.С.,
¹Торгашова Л.В., ²Крохалева О.А.

¹ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

²ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча», Иркутск, Россия

Lithological structure of the Osinskian horizon and identification of potential reservoir development zones using J. Luscia's method by the example of Srednebotuobinskoye field

¹E.N. Maksimova, ¹K.N. Chertina, ¹K.D. Bobylev, ¹E.S. Zyuzev,
¹L.V. Torgashova, ²O.A. Krokhaleva

¹LLC «Tyumen Petroleum Research Center», Tyumen, Russia

²Taas-Yuryakh Neftegazodobycha, Irkutsk, Russia

E-mail: lizaveta90@mail.ru

Аннотация. В 2017 году ПАО НК «Роснефть» приступила к опытно-промышленным работам на осинском подгоризонте Среднеботуобинского месторождения, где получены первые промышленные притоки. Дальнейшее тиражирование осложнялось отсутствием понимания площадного развития зон с лучшими свойствами.

Осинский подгоризонт сложен осадочными карбонатными породами – доломитами и известняками с различными фильтрационно-емкостными свойствами по площади и разрезу. Основная часть коллекторов относится к низкопроницаемым со средним значением менее 2 мД. Пустотное пространство в большинстве случаев представлено порами и мелкими кавернами. Трещины имеют зональное распространение.

Учитывая сложное строение и литологическую неоднородность, создана комплексная петрофизическая модель с учетом седиментологических особенностей пород осинского подгоризонта. В качестве основного подхода выбрана методика J. Luscia, основанная на типизации пустот, тесно связанных со структурно-текстурными особенностями карбонатных пород. Учитывая малую изученность специальными методами ГИС и ограниченность керновых исследований, на момент построения модели, для целей

типизации применена методика нейросетевого обучения, и проведена адаптация стандартных (модельных) зависимостей для Среднеботуобинского месторождения.

Ключевые слова: *патч-риффы, кембрий, осинский горизонт, рифовые фации, Дж.Лусиа, Сибирская платформа*

Для цитирования: Максимова Е.Н., Чертина К.Н., Бобылев К.Д., Зюзов Е.С., Торгашова Л.В., Крохалева О.А. Литологическое строение осинского подгоризонта и выявление перспективных зон развития коллекторов по методике Дж. Лусиа на примере Среднеботуобинского месторождения//Нефтяная провинция.-2021.-№1(25).-С.18-40. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.18-40>

Abstract. In 2017, Rosneft started pilot operations in the Osinsky sub-horizon, and the first industrial inflows were received. Further replication was complicated by a lack of understanding of the areal development of zones with better properties.

The Osinsky subhorizon is composed of sedimentary carbonate rocks-Dolomites and limestones with different filtration and reservoir properties in area and section. The majority of reservoirs are low-permeable with an average value of less than 2 MD. Void space in most cases is represented by pores and small cavities. Fractures have a zonal distribution.

Taking into account the complex structure and lithological heterogeneity, a complex petrophysical model was created taking into account the sedimentological features of the rocks of the Osinsky subhorizon. As the main approach, the J. Lucia method was chosen, based on the typing of voids that are closely related to the structural and textural features of carbonate rocks. Taking into account the limited knowledge of special GIS methods and the limited core research, at the time of model construction, the neural network training method was used for typing purposes, and standard (model) dependencies were adapted for a specific field.

Key words: *patch-reefs, Cambrian, Osinsky sub-horizon, reef facies, J. Lucia, Siberian platform*

For citation: E.N. Maksimova, K.N. Chertina, K.D. Bobylev, E.S. Zyuzev, L.V. Torgashova, O.A. Krokhaleva Litologicheskoe stroenie osinskogo podgorizonta i vyjavlenie perspektivnyh zon razvitiya kollektorov po metodike Dzh. Lusya na primere Srednebotuobinskogo mestorozhdeniya [Lithological structure of the Osinskian horizon and identification of potential reservoir development zones using J. Lusya's method by the example of Srednebotuobinskoye field]. Neftyanaya Provintsiya, No. 1(25), 2021. pp. 18-40. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.18-40> (in Russian)

Геологическое строение

Восточная Сибирь в настоящее время является одним из основных объектов внимания геологов-нефтяников, где сосредоточены крупные месторождения нефти, газа и газоконденсата. В последние годы на этой территории проведен большой объем ГРП (сейсмика МОГТ 3D, поисково-разведочное бурение), который позволил не только исследовать новые территории и открыть месторождения, но и получить современную ин-

формацию об уже открытых и разрабатываемых месторождениях. Одним из таких является Среднеботуобинское месторождение Лено-Тунгусской НПП (Рис. 1а).

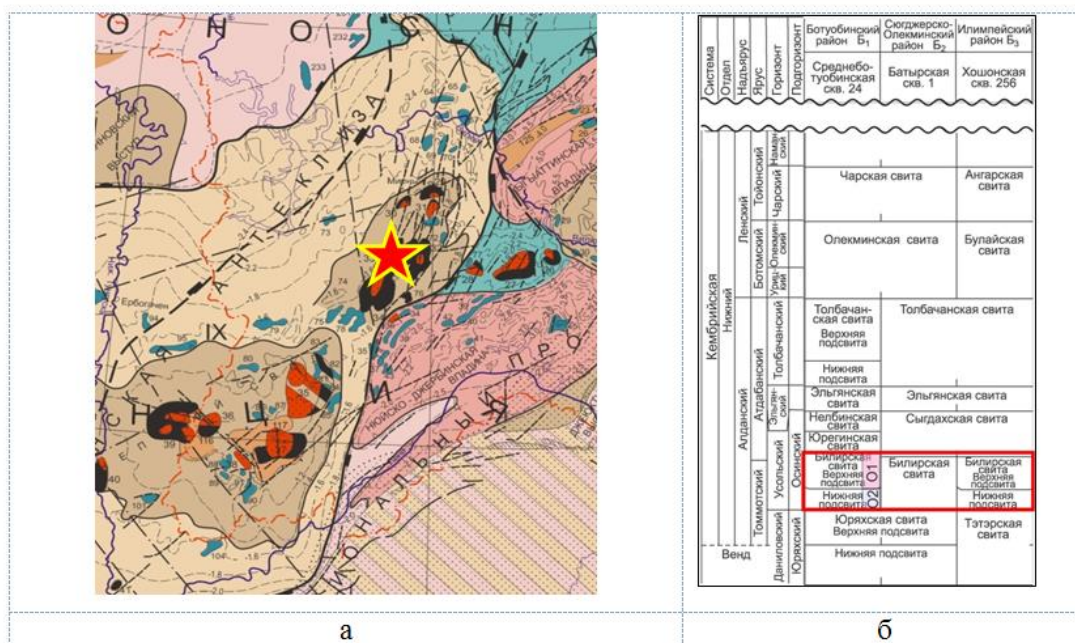


Рис. 1 Фрагмент тектонической карты НБА (а) [5], звездочкой указано местоположение Среднеботуобинского месторождения. **Стратиграфическая схема кембрийских отложений Ботуобинского района Сибирской платформы (б) [4].**

Среднеботуобинское месторождение открыто в 1970 году и является крупнейшим в регионе. Расположено на северо-восточном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы в пределах Мирнинского выступа (Рис. 1а). Продуктивность связана с осадочными породами венда и кембрия. Первый промышленный приток был получен из терригенных отложений ботуобинского горизонта. Однако в настоящее время большие перспективы связывают с карбонатными объектами, одним из которых является осинский подгоризонт билерской свиты нижнего кембрия, состоящий из двух продуктивных пластов – О1 и О2. (Рис. 1б). Преобразованность коллекторов кембрийских пород вторичными процессами делает их одним из сложнейших объектов для изучения и разработки.

В 2018 году в пределах Среднеботуобинского месторождения завершен основной объем сейсморазведочных работ МОГТ 3D, по которым по-

лучена новая информация о строении осинского резервуара. По результатам этих работ, впервые на месторождении в интервале пластов О1, О2 картированы сейсмические аномалии кольцевой формы, которые характеризуются разными динамическими характеристиками волнового поля.

Согласно палеогеоморфологическому профилю В.Г. Кузнецова [2] формирование пород осинского времени происходило в границах внутренней зоны карбонатной платформы. Вилесовым А.П. было высказано предположение о связи этих сейсмических аномалий с телами шельфовых рифов, так называемых патч-рифов [6]. Патч-риф (patch reef) – органогенная постройка, имеющая округлую, эллиптическую или неправильную форму в плане, образующаяся на глубине от 2-9 м [8].

Размеры внешнего радиуса кольцевой структуры составляют примерно 1,5-2,5 км, размеры внутреннего кольца 0,5-1 км. Всего в пределах границ залежи осинского подгоризонта выделено примерно 15 кольцевых структур, равномерно распределенных по площади. Их выделение выполнено по динамическим характеристикам сейсмического поля МОГТ 3D (Рис. 2).

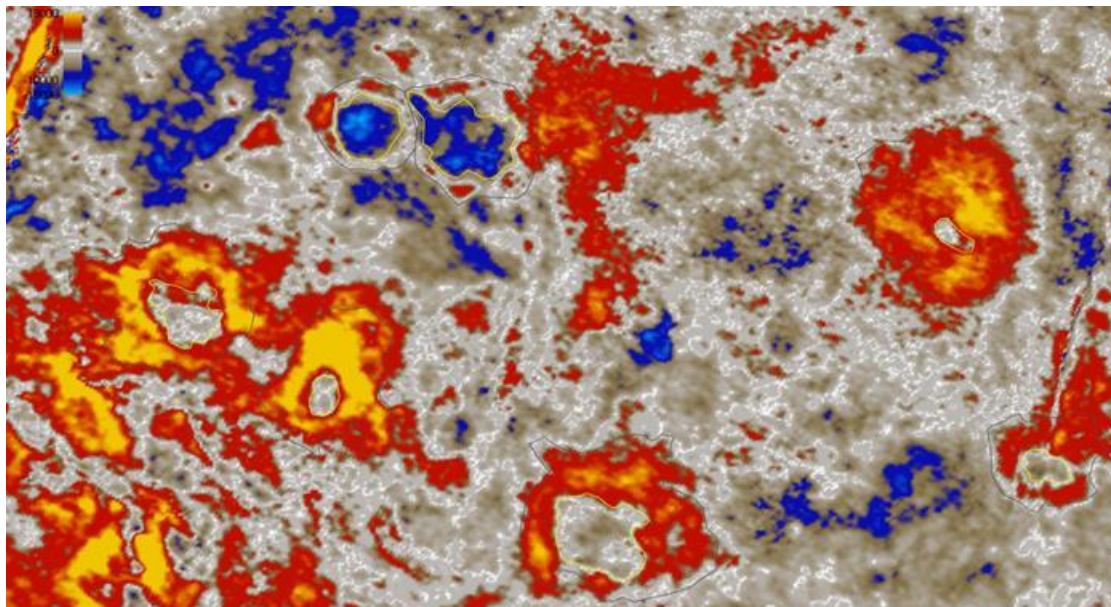


Рис. 2. Срез с амплитудного куба на уровне 12 мс от кровли осинского подгоризонта

Кольцевые структуры выделяются во временном окне 12-14 мс от кровли осинского подгоризонта (Рис. 3). Внутреннее кольцо, как правило,

характеризуется отрицательными значениями амплитуд. Внешний контур кольца – повышенными значениями амплитуд и пониженными значениями акустического импеданса [7].

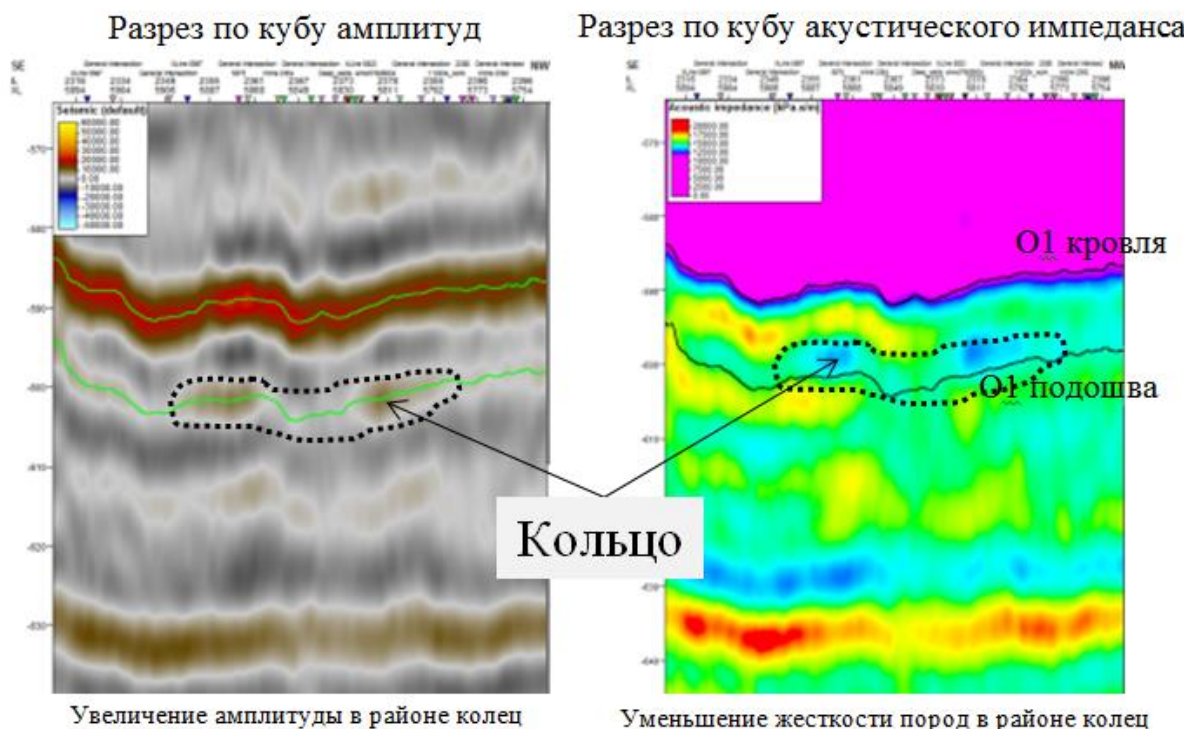


Рис. 3. Разрезы по амплитудному кубу и кубу акустического импеданса

Полученная сейсмическая информация и общие представления о бассейне седиментации требовали большей детальности для понимания строения пласта на территории Среднеботуобинского месторождения. Создание на начальном этапе работ седиментологической модели продуктивных отложений является важным, так как на ее основе осуществляется дальнейшее изучение коллекторских свойств [1]. Корректно построенная седиментологическая модель пласта позволяет не только оконтурить фациальные зоны, понять особенности распределения коллекторов по площади и в разрезе, оценить неоднородность внутреннего строения резервуаров, определить граничные значения K_p и K_{pr} , но, и главное, корректно в дальнейшем делать выбор о системе разработки залежей и о точках заложения кустов эксплуатационного бурения.

Литолого-фациальное строение и создание концептуальной модели

В кембрийский период территория Сибирской платформы находилась близ экватора, что подтверждается наличием органогенных структур [2]. Малая мощность органогенных построек и слоистые текстуры установлены в ходе детального послойного литологического описания керна верхнебилирского времени, что также подтверждает шельфовую природу рифов.

Седиментологический анализ позволил проследить историю формирования билирской свиты, выстроить фациальную зональность патч-рифов, понять особенности строения каждой фации, а также установить связь коллекторских свойств с фациями.

Проанализировано 8 скважин, общий метраж которых составил около 400 м. Керна практически со 100% выносом, однако, большая часть скважин вскрывают верхнюю часть разреза осинского подгоризонта.

Формирование пород в раннебилирское время происходило в мелко-водных и крайне мелководных условиях литорали и супралиторали с периодическими переходами до лагуны и карбонатной отмели [3]. Мелкие строматолитовые постройки располагались на литорали, глубина которой не превышала первые метры. Здесь отмечаются столбчатые строматолиты с зернистым (ооидным) межстолбчатым заполнением.

При анализе кернового материала в разрезе нижнебилирской подсвиты выделены следующие фациальные комплексы: сублитораль – фации карбонатной отмели и лагуны, литораль – фации нижней и верхней литорали, и супралитораль – фация себхи (Рис. 4).

Карбонатная отмель представлена разнотернистыми фитокластово-пелоидными и ооидными известняками со структурой грейнстоун, с разнонаправленной пологонаклонной косой прерывистой слоистостью (Рис. 4е). Формирование пород *лагуны* происходило в условиях спокойной гидродинамики со слабым влиянием волновых процессов. Литоло-

гически фация представлена доломитами и известняками со структурами мадстоун и вакстоун-мадстоун, редко до пакстоун, с тонкой полого-наклонной и субгоризонтальной слоистостью, подчеркнутой прожилками глинисто-карбонатного материала (Рис. 4д). Фация *нижней литорали* представлена по вещественному составу доломитами и известняками со структурами фитокластово-пелоидными, ооидными грейнстоунами и пакстоунами до вакстоун-пакстоун; микробиальными, пластово- и столбчато-строматолитовыми со структурами байндстоун и баундстоун (Рис. 4г). Текстуры зернистых пород чаще полого-косослоистые, участками с разнонаправленной слоистостью и текстурами ряби течения. В каркасных породах слоистость тонкая ламинарная, подчеркнута стилолитизированными прожилками черного органического вещества. Отложения *верхней литорали* представлены пластово-строматолитовыми доломитами, доломитами со структурой мадстоун и интракластовыми доломитами (Рис. 4в). Текстуры пород тонко-линзовидно-слоистые, прослоями брекчированные, отмечается интракластовый и строматокластовый материал. Слоистость подчеркнута стилолитизированными прожилками черного органического и глинистого вещества. Также отмечаются частые короткие трещинки, образованные в периоды отлива, когда побережье обнажается. Образование пород *себхи* происходит в аридном климате, в результате выпадения солей из морской воды. Литологически породы представлены доломитами интенсивно сульфатизированными, доломито-ангидритами и желваковыми ангидритами с реликтовыми включениями доломитов (Рис. 4б). Формирование *элювиальных горизонтов* происходило на этапе максимального снижения ОУМ (относительный уровень моря). В условиях субаэральной экспозиции происходит выветривание накопленных осадков, преимущественно образованных в условиях верхней литорали. Литологически фация представлена доломитами глинистыми, интракластово-литокластовыми, брекчированными, со слабой примесью терригенного материала. Также отмечаются частые трещинки усыхания и растрескивания (Рис. 4а).

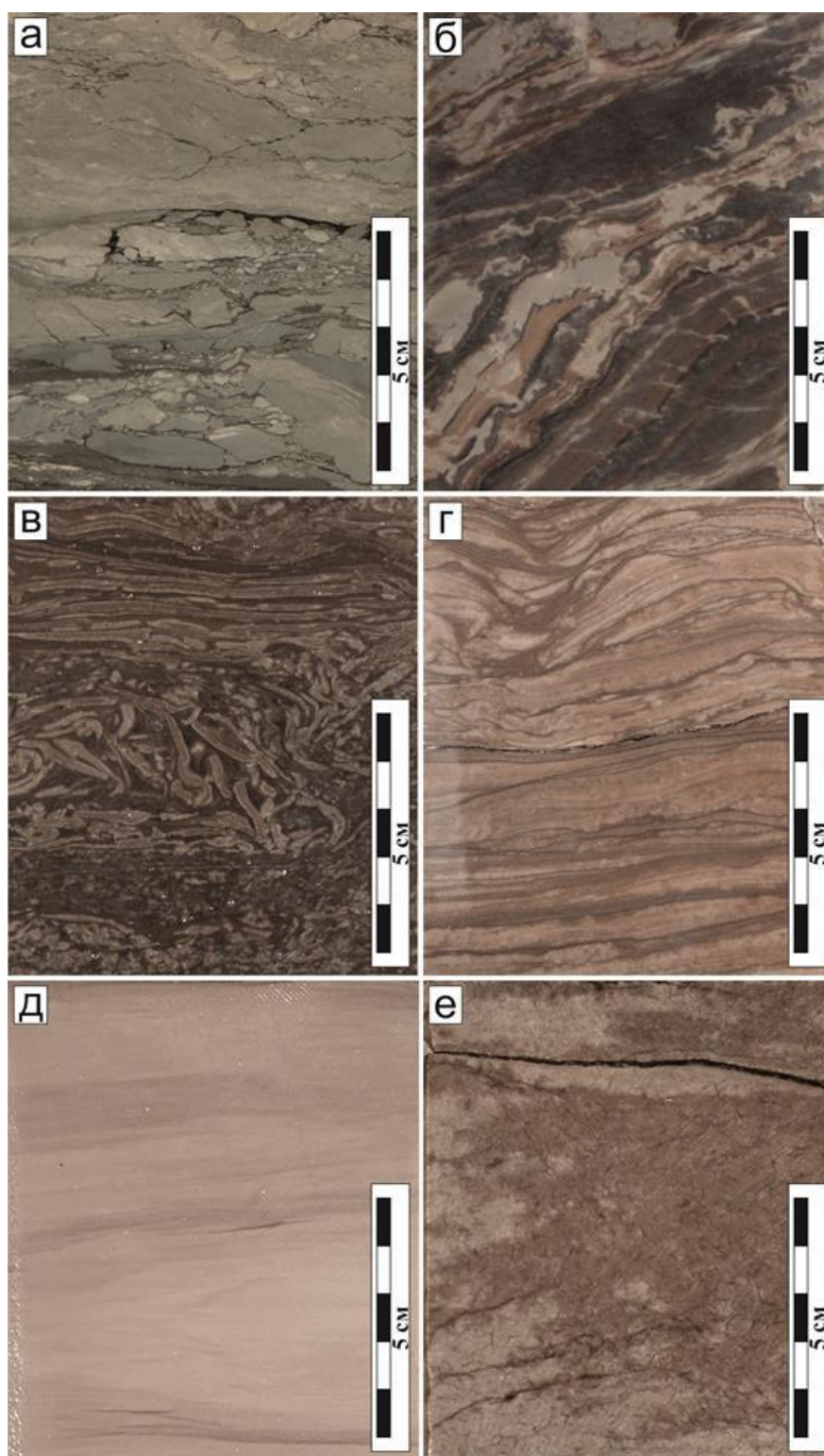


Рис. 4. Фото керна в дневном свете фаций нижнебилинской подсветы:

а – доломиты глинистые, интракластово-литокластовые (фация элювиального горизонта); б – доломиты сульфатизированные, реликтово-строматолитовые, со структурой байндстоун (фация себхи); в – доломиты строматолитовые со строматокластами, со структурой байндстоун (фация верхней литорали); г – доломиты строматолитовые, со структурой баундстоун (фация нижней литорали); д – доломиты со структурой мадстоун (фация лагуны); е – доломиты ооидные, со структурой грейнстоун (фация отмели).

Позднебилирское повышение ОУМ устанавливает нормально-морские условия мелководной сублиторали, что благоприятствует развитию рифовых комплексов [2]. На начальном этапе ограниченное пространство аккомодации и низкоэнергетический режим седиментации способствовали формированию маломощных строматолитовых построек, создающих основание, на котором начинают расти первые патч-риффы, удаленные друг от друга, с быстросменяющимися формами микробиалитов и типом межкаркасного заполнения. На начальном этапе мелкие постройки начинают формировать относительно расчлененный рельеф и являются источником карбонатного обломочного материала для различных по мощности отмелей. Наличие отмельных зон и продолжающийся повышаться ОУМ, нормальная соленость и хорошая освещенность благоприятствуют росту органогенных построек. В них прослеживается фациальная зональность: выделяется ядро рифа и его краевые зоны, выражающиеся в особенностях цианобактериальных скелетов и межскелетных заполнений. Значительное сокращение пространства аккомодации и, как следствие, изменение гидродинамического режима благоприятствуют образованию литоральных фаций. Патч-риффы формируются на этапе максимального уровня моря в ходе нормальной регрессии. Они характеризуются фациальной зональностью и латеральной изменчивостью. Выделяемые зоны биогермного ядра, внутри-рифовой лагуны, краевой зоны рифа и рифового шлейфа отличаются по минеральному составу, вторичным изменениям и фильтрационно-емкостным свойствам (Рис. 5).

Биогермное ядро сложено известняками с тонковетвистыми формами микробиалитов, с высоким содержанием микритовой составляющей в межскелетных промежутках и слабой преобразованностью вторичными процессами (Рис. 5а). Породы не являются коллекторами.

В обстановке внутририфовой лагуны, характеризующейся спокойным гидродинамическим режимом и повышенной соленостью происходит осаждение карбонатного ила и гипса с субгоризонтально ориентирован-

ными фенестрами неправильной формы (Рис. 5б). Породы не являются коллекторами.

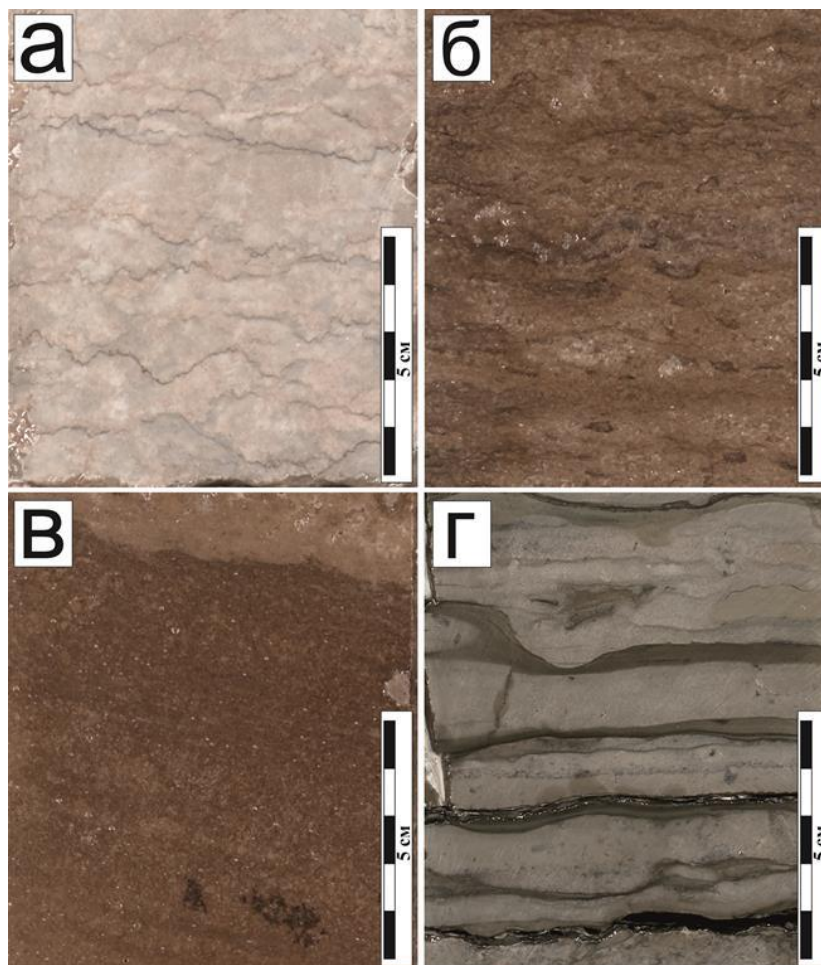


Рис. 5. Фото керна в дневном свете фаций рифа верхнебилинской подсвиты:

а – известняки микробиально-водорослевые, со структурой баундстоун (фация ядра рифа); б – доломиты известковые, микробиально-водорослевые с зернистым заполнением, со структурой баундстоун (фация краевой зоны рифа); в – доломиты разнотернистые, со структурой рудстоун-грейнстоун (фация шлейфа рифа); г – доломиты, со структурой мадстоун (фация внутририфовой лагуны).

Для пород краевой зоны патч-рифа свойственны более массивные и толстокустистые формы микробиалитов с обилием зернистого материала в межскелетных промежутках. Относительно высокая и изменчивая гидродинамика создавала условия для образования и осаждения фитокластового зернистого материала, который распределялся в виде линзовидных зон и прослоев. Краевая зона характеризуется неоднородным вещественным составом (известняки и доломиты) со сложным пустотным пространством, что связано с различной степенью перекристаллизации каркаса постройки

и зон заполнений. По мере уплотнения в породах возникали микротрещины, что значительно улучшает проницаемость пород (Рис. 5в).

Рифовый шлейф формируется в результате разрушения органогенной постройки и сложен зернистым материалом с частыми крупными фитокластами и фрагментами колоний. Первичная пористость – межзерновая. По результатам петрофизических исследований, зона рифового шлейфа характеризуется наилучшими коллекторскими свойствами (Рис. 5г).

При следующем кратковременном повышении ОУМ начинается рост новых патч-рифов на вновь образованных приподнятых участках рельефа. На заключительном этапе седиментации наблюдается существенное обмеление: в верхней части разреза появляются литоральные и супралиторальные фации.

Отложения билирской свиты перекрываются мощной пачкой каменных солей солеродной лагуны юрегинского времени, которая является региональным флюидоупором.

По результатам выполненных седиментологических и петрографических исследований реконструированы условия формирования карбонатных отложений и разработана концептуальная седиментологическая модель строения мелководных шельфовых рифов (Рис. 6).

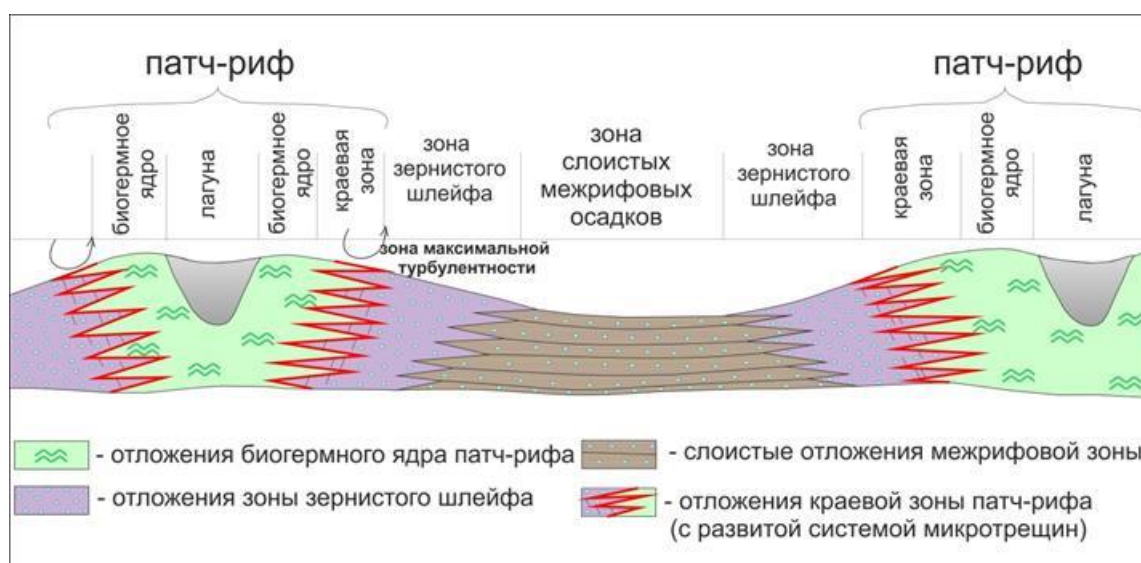


Рис. 6. Концептуальная модель строения шельфовых патч-рифов осинского подгоризонта Среднеботубинского месторождения [6]

Типизация коллекторов по структуре порового пространства (Дж.Лусиа)

Для того чтобы понять распределение коллекторов в разрезе осинского подгоризонта все карбонатные породы пластов О1 и О2 ранжировались согласно классификации Дж.Лусиа [9]. Суть классификации разделить карбонатные породы по типу или особенностям порового пространства. Дж.Лусиа разделил поровое пространство на два основных типа: к первому типу отнес межчастицевую пористость, находящуюся между зернами и кристаллами, второй тип, включает все остальные виды пустотного пространства, объединяемые общим термином «каверновая пористость». Каверновая пористость еще подразделяется на две группы: 1) каверны, которые соединяются только посредством сети межчастицевых пор (изолированные) и 2) каверны, создающие взаимосвязанную систему (Рис. 7). Таким образом, в осинском подгоризонте Среднеботуобинского месторождения все породы разделились на 5 классов. Три класса (С1, С2 и С3) были выделены Дж.Лусиа и считаются общепринятыми. Чтобы понять распределение коллекторов на описываемой территории появилась необходимость выделения еще двух дополнительных классов: С0 (плотные, практически непроницаемые породы – не коллектор) и С4 (плотные породы с проводящими трещинами). Осложняющим фактором при выделении классов является степень вторичной преобразованности (перекристаллизация, выщелачивание) и неоднородный вещественный состав (кальцит, доломит, сульфаты, галит). При анализе учитывались только открытые пустоты, их распределение и сообщаемость.

Породы оценивались на макроуровне, в процессе седиментологического анализа керна, стандартных цилиндров ($d=30\text{ mm}$), а также петрографическим методом (Рис. 8). Именно комплексирование методов позволило в условиях неоднородности пород учесть особенности поровых систем, которые не всегда достоверны при исследовании стандартными цилиндрическими образцами керна, так как отбор образцов может происхо-

КАВЕРНОВОЕ ПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО								
ИЗОЛИРОВАННЫЕ КАВЕРНЫ КОНТАКТ ТИПА «КАВЕРНА-МАТРИЦА-КАВЕРНА»				ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ КАВЕРНЫ КОНТАКТ ТИПА «КАВЕРНА-КАВЕРНА»				
ПОРИСТОСТЬ, СВЯЗАННАЯ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ КАВЕРНАМИ (%)	Преимущественно зернистая структура		Преимущественно глинистая структура		Породы с преимущественно зернистой и преимущественно глинистой структурами			
	Примеры		Примеры		Примеры			
	Молочно- вые поры		Молочно- вые поры		Кавернозное		Трещинное	
	Внутри- фосиль- ные поры		Внутри- фосиль- ные поры		Брекчиевидное		Трещины, увеличенные при раство- рении частиц породы	
	Внутри- зерновая микропо- ристость		Поры, заполнен- ные вто- ричным кальцитом		Фенестровое		Микротре- щины, соединя- ющие мо- лочно- вые поры	

Рис. 7. Геолого-петрофизическая классификация межчастичевого и кавернового пустотного пространства в карбонатных породах (по Дж. Лусиа)

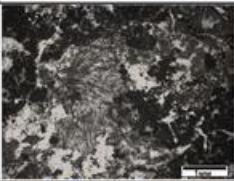
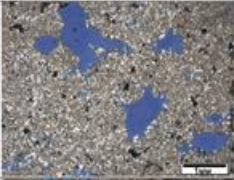
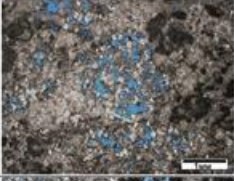
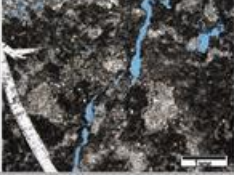
Класс по Дж. Луси	Фация	Фото шлифа	Характеристика поровой системы	Основные типы пустот
C0	Супралитораль Верхняя литораль Лагуна Ядро рифа		Сообщающиеся пустоты отсутствуют	Единичные поры и каверны
C1	Шлейф рифа* Краевая зона рифа Отмель		Регулярная система сообщающихся пустот межкристаллического и межзернового типа	Поры Каверны Трещины
C2	Нижняя литораль* Краевая зона рифа Отмель		Неравномерное распределение межкристаллических пустот в виде пятен и цепочек	Поры Микропоры
C4	Внутририфовая лагуна Ядро рифа		Проводящие трещины, секущие плотную матрицу	Трещины и единичные поры

Рис. 8. Характеристика классов коллекторов билирской свиты по Дж. Луси

К классу C0 отнесены плотные породы, сложенные преимущественно микритом и глинисто-микритовым материалом, и слабо подвергшиеся процессам диагенеза. К ним относятся породы, образованные в гидродинамически спокойных условиях лагуны, супралиторали и ядра рифа.

Класс C1 обладает наилучшими коллекторскими свойствами и представлен карбонатными породами (преимущественно доломитами), сформированными в гидродинамически активных условиях. В зонах максимальной турбулентности, характерной для краевой зоны рифа отмечается чередование плотных пород каркаса постройки и зон зернистых заполнений. На стадиях раннего диагенеза в процессе уплотнения пород образуется густая сеть проводящих микротрещин. В это же время в осадках шлейфа рифа и отмели, сложенных зернистым карбонатным материалом сохраняются первичные межзерновые (межчастичные) пустоты, сообщаемость которых увеличивается за счет новообразованных поровых каналов.

Породы класса C2 формировались в гидродинамически нестабильных условиях литорали. Механизм образования пустот схож с классом

коллекторов С1, однако, здесь слабо развита трещиноватость. Унаследованные структурные и текстурные особенности породы обуславливают характер распределения пористых участков и размер пустот.

Породы класса С3 в изучаемом разрезе не зафиксированы.

Породы, отнесенные к классу С4 формировались в гидродинамически спокойных условиях ядра рифа и внутририфовой лагуны. На более поздних этапах в них развивались протяженные проводящие литогенетические либо тектонические трещины, секущие плотную матрицу породы.

Несмотря на сложное фациальное строение, латеральную изменчивость, а также наличие вторичных изменений удалось установить связь между фациальными зонами и типами коллекторов. Фации рифового ядра и рифовой лагуны обладают низкими коллекторскими свойствами. В отличие от них, рифовые шлейфы и краевые зоны патч-рифов в виду содержания большого количества зернистого материала имеют более высокие значения Кп и Кпр. В зоне шлефа проницаемость обусловлена связанной системой межзерновых пор и унаследованных по ним каверн.

Вторичные преобразования оказывают влияние на сохранность первичных структур и коллекторские свойства. Так в зонах, слабо затронутых вторичными процессами сохранность структур лучше, однако, коллектор не формируется.

Петрофизика

Полученные представления о структурно-текстурных особенностях пород легли в основу создания петрофизической модели проницаемости.

Из вышеописанных особенностей пород осинского подгоризонта следует, что, с петрофизической точки зрения, данные карбонатные отложения не будут обладать единой корреляционной связью типа проницаемость (Кпр)-пористость (Кп). Для целей повышения достоверности оценки проницаемости и выделения наиболее перспективных участков классифи-

кация по методике Дж.Лусиа, полученная по результатам петрографического описания, была перенесена в масштаб геофизических методов (ГИС).

Классическая типизация зависимостей предполагает наличие третьего - дополнительного параметра, который в свою очередь имеет связь какой-либо петрофизической переменной и определяться независимо. Наиболее распространенной практикой является типизация зависимостей Кпр-Кп по остаточной водонасыщенности (Кво). Однако применение этого подхода к породам осинского подгоризонта оказалось невозможным из-за малого количества капиллярных исследований.

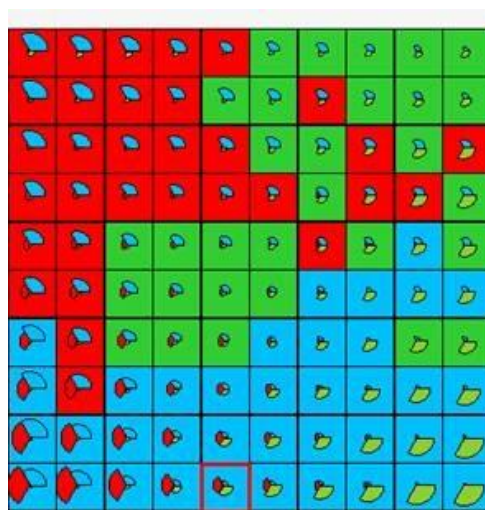
Для решения такой задачи широко используются нейросетевые методы, позволяющие выполнять различные классификации и типизации в тех случаях, когда изучаемые разрезы скважин имеют низкий вынос керна и характеризуются неполным комплексом ГИС. В качестве основного инструмента для анализа, который обладает хорошей способностью к выделению классов и их предсказанию в диапазоне значений обучающей выборки, часто выбирается нейронная сеть Кохонена.

Применение методов нейросетевого обучения

Нейросетевое моделирование представляло собой прогнозирование класса пород в зависимости от показаний геофизических методов. В данной работе все исходные данные – седиментологическое описание керна и ГИС по 8 скважинам, изначально разделены на две группы: обучающая и тестовая выборки (последняя использовалась, как контрольная, для качества обучения). Макроописание пород по керну приведено к разрешающей способности геофизических методов.

На рис. 9 приведен пример обучения нейросети, где цветовая раскраска соответствует классу пород, а каждая «клетка» содержит круговую диаграмму, где показано влияние разных методов ГИС на отнесение кластера к тому или иному классу. В данной реализации использован

наиболее распространенный комплекс ГИС, который записывается в скважинах Среднеботуобинского месторождения: акустический, нейтронный и гамма-каротаж. Исходный набор классов сокращен до трех основных: 1 класс – коллектор с хорошими фильтрационными свойствами, 2 класс – коллектор с ухудшенными фильтрационными свойствами, и C0 – неколлектор. Класс C4, к которому отнесены образцы с микротрещиноватостью, не участвовал в нейросетевом моделировании, из-за того, что ограниченный комплекс методов ГИС не позволяет корректно выделять такой тип пород без керна.



Диаграммы ■ ГК ■ АК ■ НК

Ячейки ■ 1 класс ■ 2 класс ■ неколлектор

Рис. 9. Самоорганизующаяся карта (Кохонена)

Анализируя полученную карту классов сделан вывод о явном выделении класса неколлекторов (C0) по нейросетевому алгоритму; классы 1 и 2 обладают большей схожестью, о чем свидетельствуют кластеры класса 2 расположенные в преимущественной области класса 1. На рис. 10 приведено сопоставление классов керн-нейросетевая модель.

Оценка качества моделирования проводилась путем поточечного сопоставления смоделированных классов с классами, выделенными на керновых данных (Табл. 1).

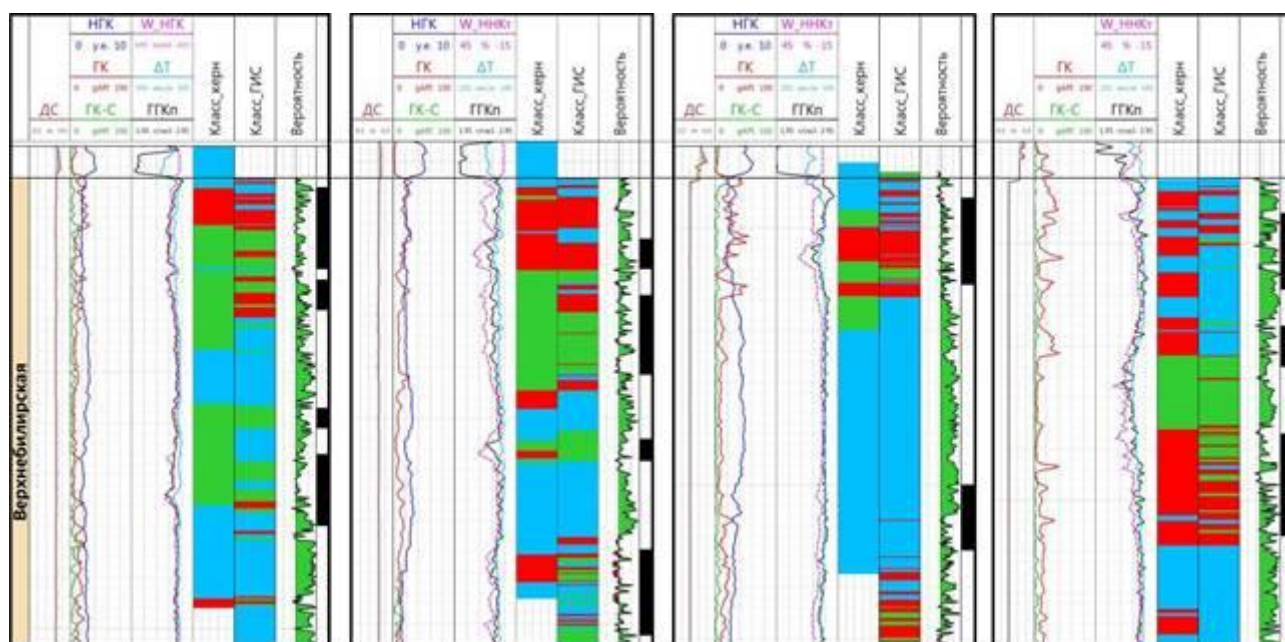


Рис. 10. Планиет сопоставления классов Керн-Нейросетевая модель

Таблица 1

Количественные оценки работы нейросетевого алгоритма

Средняя точность оценки, %	Диапазон точности по скважинам, %
65,2	58-75

Точность распознавания классов ухудшается с уменьшением толщины пропластков, и сильно зависит от качества комплекса ГИС (зашумленность, калибровка).

Оценка проницаемости пород

На следующем этапе моделирования результаты определения классов по петрографическому описанию шлифов и макроописанию были добавлены на кросс-плот Кпр-Кп (Рис. 11). Также на рисунке представлены теоретические линии классов, полученные автором методики в ходе анализа [9].

Определение класса пород по макроописанию обладает большей степенью неоднозначности по сравнению с описанию шлифов, что проявляется во взаимном смещении точек классов в области соседних (в т.ч.

кластер трещиноватых образцов). Результирующее уравнение определения проницаемости, настроенное на данные отложения, имеет вид:

$$\log(K_{пр}) = (A - B \log(\text{класс})) + ((C - D \log(\text{класс}))\log(K_{п}))$$

где «класс» - целочисленный номер класса (1,2); A,B,C,D – определяемые настройкой коэффициенты.

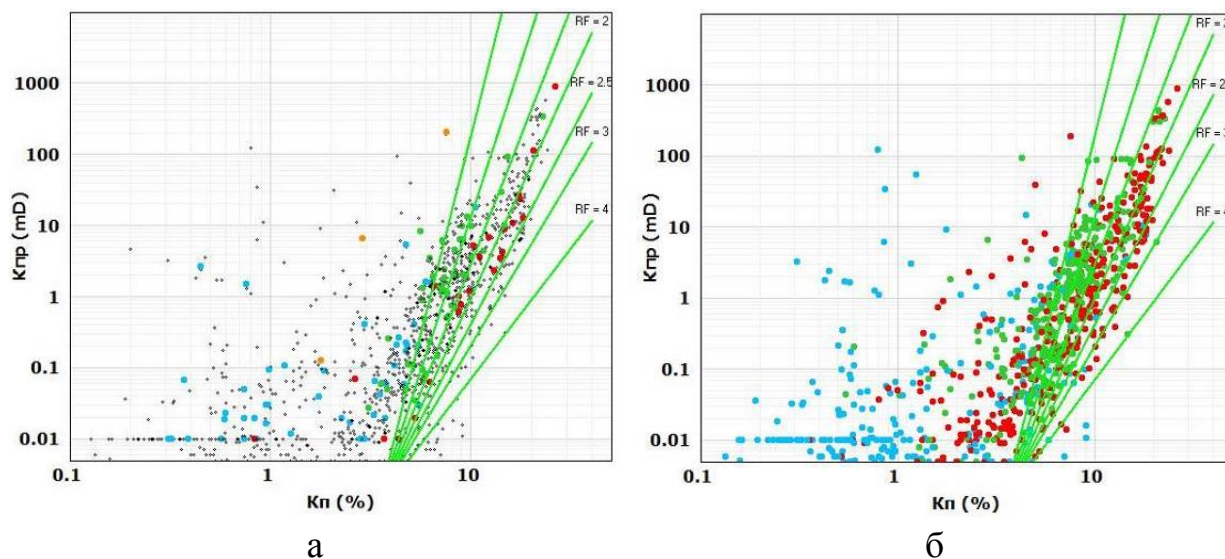


Рис. 11. Кросс-плот $K_{пр}$ - $K_{п}$ (гелий) с заливкой по классу пород:

а – петрографические шифры, б - макроописание керна

Описанная методика определения класса пород и расчета проницаемости легла в основу геологического моделирования и прогнозирования перспективных участков объекта с учетом полученных граничных значений по проницаемости для каждого класса.

Пространственные закономерности развития классов — коллекторов осинского подгоризонта в пределах Среднеботубинского месторождения

В ходе работы по данным ГИС распознавание классов коллекторов сделано более чем в 200 скважинах. Установлено, что основные зоны высокородных коллекторов с улучшенными ФЕС связаны с развитием литотипов класса С1, доля которых от общей мощности осинского подгоризонта сильно меняется (от 5% до 46%). Более низкими коллекторскими свой-

ствами обладают породы класса С2, доля которых в разрезе существенно выше и достигает – 37%, остальная часть осинского подгоризонта (47%) представлена неколлекторами (Рис. 12). До 80% коллекторов класса С1 связано с фациям краевых частей органогенных построек и шлейфовыми отложениям рифа. Этот класс коллекторов развит преимущественно в пласте О1. Пласт О2 практически полностью представлен коллекторами класса С2.

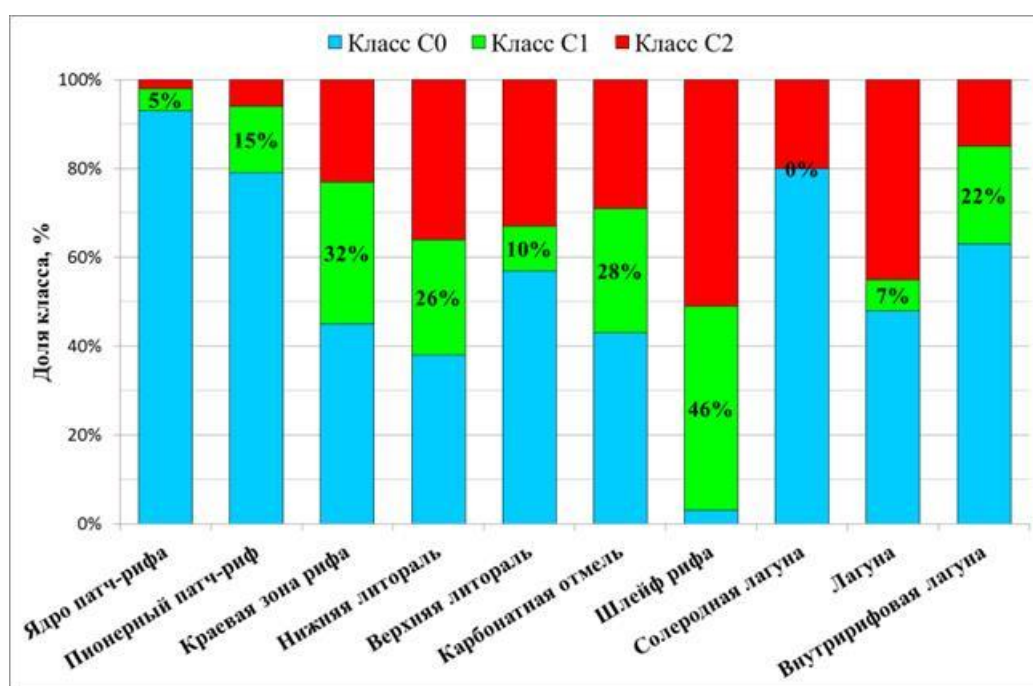


Рис. 12. Распределение классов коллекторов по фациям в разрезе осинского подгоризонта

Самые высокочастотные коллекторы класса С1, встречаются преимущественно в центральной части пласта О1 и выделяются к южной части залежи и к областям выявленных по результатам сейсморазведки кольцевых структур. Здесь стоит отметить, что зоны класса С1 и зоны с улучшенными ФЕС по данным ГИС выявлены не только в областях органогенных построек (колец), но и на удалении от них. По мнению авторов, это связано с недостаточной разрешающей способностью сейсморазведки, ведь интервал аномалий приходится на интервал около 4 мс. Полагаем, что данные кольцевые структуры в будущем будут оконтурены во время полномасштабного разбуривания по скважинным данным.

Выводы:

В результате седиментологического анализа удалось подтвердить природу шельфовых рифов, восстановить особенности их строения и построить концептуальную модель. В каждой скважине протипированы все коллекторы по методике Дж.Луси, и определен преобладающий класс коллектора для каждой фации.

Список литературы

1. Косентино Л. Системные подходы к изучению пластов. Пер.с англ. Облачко И.Ю. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2001. 400 с.
2. Кузнецов В.Г., Илюхин Л.Н., Дмитриевский С.А. и др. Древние карбонатные толщи Восточной Сибири и их нефтегазоносность. - М.: Научный мир, 2000. 104 с.
3. Максимова Е.Н., Чертина К.Н. Циклическое строение осинского горизонта на примере одного из месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы // Мат. IX Всерос. литол. совещ. (с международным участием): Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей. Казань, 2019. С. 271—272.
4. Мельников Н.В., Шабанов Ю.Я., Шабанова О.С. Стратиграфическая схема кембрийских отложений Турухано-Иркутско-Олекминского региона Сибирской платформы // Геология и геофизика, 5(6), 2010. С. 863-875.
5. Мельников Н. В. Якшин М. С., Шишкин Б. Б и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Гео, 2005. 428 с.
6. Чертина К.Н., Максимова Е.Н., Вилесов А.П., Крохалева О.А. Концептуальная седиментологическая модель патч-рифов осинского горизонта Среднеботуобинского месторождения (Непско-Ботуобинская антеклиза) // Мат. Всерос. литол. совещ.: Геология рифов. Сыктывкар, Геопринт, 2020. С. 127-129.
7. Шаповалов М.Ю., Манькута В.А. и др. Обработка и комплексная интерпретация сейсмических данных 3Д сезонов 2016-2018 годов с целью построения сейсмогеологической модели Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения». Отчет по договору с ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча». ООО «ТННЦ», Тюмень, 2019.
8. Hopley D.. Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, Form and Process. Springer, 2011. 1205 p.
9. Lucia Jerry F. Carbonate Reservoir Characterization. Springer, 2007. 337 p.

References

1. Kosentino L. *Sistemnye podkhody k izucheniyu plastov* [System approaches to formation evaluation]. M.-Izhevsk: Institute of Computer Science, 2001, 400 p. (translated from English)
2. Kuznetsov V.G., Ilyukhin L.N., Dmitrievsky S.A. et al. *Drevnie karbonatnye tolshchi Vostochnoy Sibiri i ikh neftegazonosnost* [Ancient carbonate rocks of Eastern Siberia and associated oil and gas potential]. Moscow: Nauchny mir Publ., 2000. 104 p. (in Russian)

3. Maksimova E.N., Chertina K.N. *Tsiklichesкое stroenie osinskogo gorizonta na primere odnogo iz mestorozhdeniy Nepsko-Botuobinskoy anteklizy* [Cyclic structure of the Osinskian horizon by the example of one field of the Nepsko-Botuobinskaya anticlise]. Proceedings of IX All-Russian Lithological Meeting: Lithology of sedimentary sequences of Eurasia and offshore regions. Kazan, 2019, 271—272 pp. (in Russian)
4. Melnikov N.V., Shabanov Yu.Ya., Shabanova O.S. *Stratigraficheskaya skhema kembriyskikh otlozheniy Turukhano-Irkutsko-Olekminskogo regiona Sibirskoy platformy* [Stratigraphic scheme of Cambrian sediments of Turukhan-Irkutsk-Olekminsky Region of the Siberian platform]. *Geologiya i geofizika*, 5(6), 2010, 863-875 pp. (in Russian)
5. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B. et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of Siberian petroleum basins. The Riphean and Vendian of the Siberian platform and its folded margins]. Novosibirsk: Geo Publ., 2005, 428 p. (in Russian)
6. Chertina K.N., Maksimova E.N., Vilesov A.P., Krokhaleva O.A. *Kontseptualnaya sedimentologicheskaya model patch-rifov osinskogo gorizonta Srednebotuobinskogo mestorozhdeniya (Nepsko-Botuobinskaya antekliza)* [Conceptual depositional model of patch reefs of the Osinskian horizon of Srednebotuobinskoye field (Nepsko-Botuobinskaya anticlise)]. Proceedings of All-Russian Lithological Meeting: Reef geology. Syktyvkar: Geoprint Publ., 2020, 127-129 pp. (in Russian)
7. Shapovalov M.Yu., Mankuta V.A. et al. *Obrabotka i kompleksnaya interpretatsiya seismicheskikh dannykh 3D sezonov 2016-2018 godov s tselyu postroeniya seismogeologicheskoy modeli Srednebotuobinskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya* [Processing and integrated interpretation of 3D seismic data of 2016-2018 for construction of seismic model of Srednebotuobinskoye oil-gas-condensate field]. Final report under agreement with Taas-Yuryakh Neftegazodobycha, Tyumen, 2019. (in Russian)
8. Hopley D.. *Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, Form and Process*. Springer, 2011. 1205 p. (in English)
9. Lucia Jerry F. *Carbonate Reservoir Characterization*. Springer, 2007. 337 p. (in English)

Сведения об авторах

Максимова Елизавета Николаевна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42
E-mail: lizaveta90@mail.ru

Чертина Ксения Николаевна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42
E-mail: KNChertina@tnnc.rosneft.ru

Бобылев Кирилл Дмитриевич, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42
E-mail: kdbobylev@tnnc.rosneft.ru

Зюзов Евгений Сергеевич, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42
E-mail: ESZyuzev@tnnc.rosneft.ru

Торгашова Лариса Витальевна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42
E-mail: lvtorgashova@tnnc.rosneft.ru

Крохалева Ольга Александровна, ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча»
Россия, 664050, Иркутск, ул. Байкальская, 279
E-mail: krokhalevaooa@tyngd.rosneft.ru

Authors

E.N. Maksimova, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»
42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation
E-mail: lizaveta90@mail.ru

K.N. Chertina, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»
42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation
E-mail: KNChertina@tnnc.rosneft.ru

K.D. Bobylev, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»
42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation
E-mail: kdbobylev@tnnc.rosneft.ru

E.S. Zyuzev, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»
42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation
E-mail: ESZyuzev@tnnc.rosneft.ru

L.V. Torgashova, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»
42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation
E-mail: lvtorgashova@tnnc.rosneft.ru

O.A. Krokhaleva, LLC «Taas-Yuryakh Neftegazodobycha»
279, Baikalskaya st., Irkutsk, 664050, Russian Federation
E-mail: krokhalevaooa@tyngd.rosneft.ru

Статья поступила в редакцию 08.02.2021

Принята к публикации 13.03.2021

Опубликована 30.03.2021