

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ ВИКУЛОВСКОЙ СВИТЫ РОГОЖНИКОВСКО-ЛЯМИНСКОЙ ЗОНЫ

Игорь Викторович Федорцов, Кристина Альбертовна Костеневич
Тюменское отделение «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз»

Объектом исследования являлись отложения викуловского горизонта в пределах Рогожниковско-Ляминской группы лицензионных участков, расположенных в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа. Для отложений викуловской свиты характерна значительная латеральная и вертикальная изменчивость фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов, которая определяется как минеральным составом скелета и цемента, так и особенностями структуры порового пространства. Целью работы являлось обобщение результатов литолого-петрофизического исследования керна и обоснование петрофизических параметров пород-коллекторов продуктивного пласта ВК₁. Рассмотрены условия формирования отложений, выделены основные литофациальные типы отложений, проведен анализ литологических и фильтрационно-емкостных свойств пород с учетом их принадлежности к литофациальным типам и проведена типизация пород-коллекторов с привлечением разных методов классификации.

Условия формирования

На территории Краснотеннинского свода отложения викуловской свиты относятся к отложениям крупного дельтового комплекса и осадкам шельфовой зоны. В разрезе свиты выделяются песчано-алевритовые пропластки, которые экранируются глинистыми прослоями. К верхней части свиты приурочен продуктивный пласт ВК₁, имеющий толщину от 15 до 27 м.

В Рогожниковско-Ляминской зоне осадконакопление пород викуловской свиты проходило в центральной части внутреннего мелководного бассейна. Нижняя часть викуловского горизонта формировалась в период регрессивного этапа развития бассейна и представлена отложениями дальней шельфовой зоны, в пределах которой песчано-алевритовые тела имеют небольшую мощность и ограниченное распространение. В дальнейшем происходило постепенное уменьшение глубины бассейна седиментации и продвижение дельтовой системы в восточном и северо-восточном направлении, за счет чего увеличивались общие толщины песчано-алевритовых прослоев, и расширялась зона их распространения.

Накопление осадков пласта ВК₁ соответствует трансгрессивному этапу развития бассейна. Пласт ВК₁ представлен последовательностью из трех циклов. Нижний цикл является осадками дистальной части фронта дельты, отложения среднего и верхнего цикла формировались уже на большей глубине на большем удалении от береговой линии и представлены осадками штормового шельфа. Область распространения и толщины песчано-алевритовых прослоев с увеличением глубины бассейна седиментации постепенно сокращались вверх по разрезу пласта. Для циклов характерна латеральная выдержанность. В южной части Рогожниковско-Ляминской зоны цикличность строения пласта ВК₁ нарушена за счет серии распределительных каналов, протягивавшихся в северо-восточном направлении. Каналы являлись морским продолжением рукавов разветвленной русловой системы надводного дельтового комплекса, по которым происходила транспортировка осадочного материала в морской бассейн.

По условиям образования выделено два основных литолого-фациальных типа пород. Это отложения распределительных каналов и отложения штормового шельфа (отложения дистальной дельтовой зоны, подвергавшиеся штормовому воздействию и отложения шельфа). Штормовые отложения всех трех циклов характеризуются в целом близкими литологическими и петрофизическими свойствами. Отложения распределительных каналов заметно отличаются от штормовых осадков по своим свойствам.

Анализ фильтрационно-емкостных и литологических свойств

На коллекции образцов керна из опорных скважин, вскрывших все типы отложений, были проведены комплексные анализы фильтрационно-емкостных и литологических свойств пород. На большой, статистически представительной выборке были определены пористость, проницаемость, водоудерживающая способность пород, гранулометрический состав, минеральный состав глинистого цемента, содержание карбонатных минералов. Специальные исследования были выполнены на коллекции образцов, представляющей все типы пород-коллекторов. Они включали в себя капиллярные исследования, определение параметрических характеристик порового пространства по петрографическим шлифам и лабораторное определение коэффициента извлечения нефти. Такой комплекс исследований позволил провести детальный анализ пород-коллекторов.

В ходе анализа петрофизических свойств подтвердилось значительное расхождение в свойствах песчано-алевритовых пород-коллекторов выделенных литолого-фациальных типов. Проницаемые прослои штормовых отложений викуловской свиты представлены преимущественно алевритами с преобладанием крупноалевритовой фракции. Толщины отдельных песчано-алевритовых прослоев в нижнем цикле обычно равны 30-40 см, в среднем – 5-10 см, и 2-3 см в верхнем цикле. Доля глинистых и алеврито-глинистых разностей по разрезу составляет 63% в нижнем, 40% в среднем и 65% в верхнем цикле. Преобладающими осадками в каналах являются алевритистые песчаники,

доля глинистых и алеврито-глинистых разностей в среднем составляет около 10%, а средние толщины однородных песчаных прослоев 2-3 м при общей толщине отложений данного типа от 3-5 до 16 м.

По открытой пористости отложения каналов и штормовые отложения лежат в одном диапазоне, а по проницаемости отмечается существенное различие. Сопоставление открытой пористости и проницаемости пород разных литолого-фациальных типов приведено на рисунке 1. Наиболее «перспективными» с точки зрения качества коллекторов являются отложения распределительных каналов пласт ВК₁.

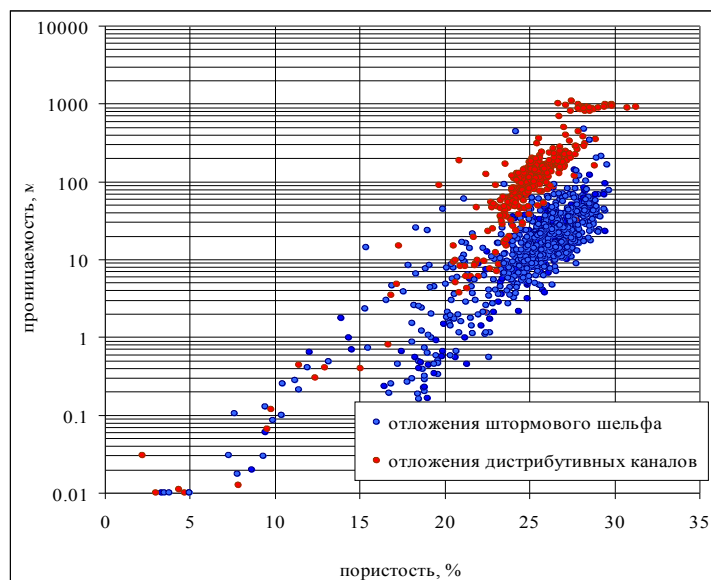


Рисунок 1. Сопоставление пористости и проницаемости пород различных литолого-фациальных типов

Граничные значения коллектора для нефтенасыщенных пород пласта ВК₁ по результатам анализа фильтрационно-емкостных свойств составляют 20.2% по пористости и 3.4×10^{-3} мкм² по проницаемости. Все песчано-алевритовые породы распределительных каналов относятся к коллекторам, штормовые отложения представлены как коллекторами, так и неколлекторами.

Цемент песчаников и алевролитов преимущественно глинистый. Наряду с порово-пленочным рассеянным глинистым цементом в породах свиты отмечается текстурная глинистость, связанная с неустойчивым гидродинамическим режимом. Текстурная глинистость характерна для пород штормового шельфа. В породах распределительных каналов преобладает рассеянная глинистость. Карбонатный цемент развит слабо. Он представлен поровым кальцитом и сидеритом, развивающимся по слюдам. Карбонатный цемент оказывает заметное влияние на ФЕС пород при количестве более 10%, но содержание прослоев с карбонатным типом цемента невелико. Основное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород оказывает глинистый рассеянный цемент. С ростом общей глинистости отмечается сильное изменение состава глинистого цемента. При общей глинистости менее 20% (в области коллекторов) отмечается значительная дифференциация состава глинистого материала, а при общей глинистости более 20% (в области неколлекторов) состав глинистого материала становится почти постоянным с преобладанием хлорита и значительным вкладом гидрослюда. На рисунке 2 приведено сопоставление пористости и проницаемости пород с общей глинистостью. Породы распределительных каналов характеризуются высокими значениями пористости, максимальными значениями проницаемости и в тоже время повышенным содержанием глинистого цемента 7% по сравнению с 4-5% в штормовых отложениях. Повышенные значения связаны с развитием в породах каолинита. В песчано-алевритовых породах каналов доля каолинита в составе глинистого материала 73%, гидрослюда практически отсутствует, а содержание хлорита составляет около 20% (2-3% на породу).

В породах-коллекторах штормового генезиса доля хлорита повышается до 35-45% (это те же 2-3% на породу). Хлорит в составе цемента представлен, по меньшей мере, двумя минеральными типами. Это железисто-магнезиальный пленочный хлорит, покрывающий зерна, и более магнезиальный хлорит, образующий комплекс с гидрослюдами и расположенный в порах, мелких глинистых линзах и прослоях. На рисунке 3 приведена зависимость изменения компонентного состава глинистого материала от содержания глинистого материала.

По стандартной методике с учетом литологических и петрофизических особенностей были выделены три литолого-петрофизических типа пород. Породы первого типа, представленные лучшими коллекторами, отмечены только в отложениях дистрибутивных каналов. Породы второго типа, со средними свойствами характерны как для отложений каналов, так и штормового шельфа.

Третий литолого-петрофизический тип пород характерен преимущественно для осадков штормового шельфа.

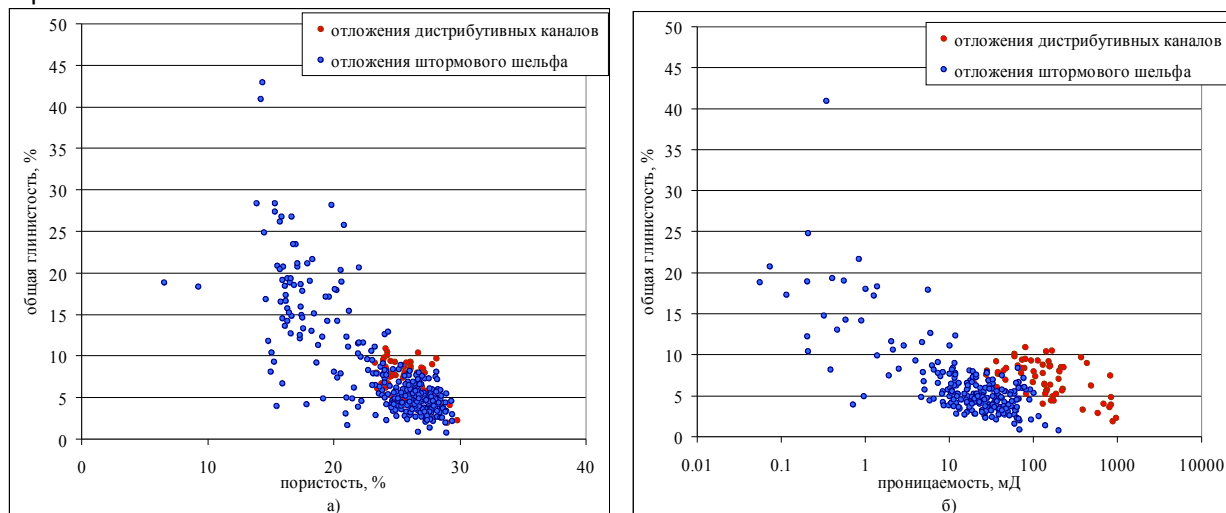


Рисунок 2. Сопоставление общей глинистости и пористости (а), общей глинистости и проницаемости (б) пород различных литолого-фациальных типов

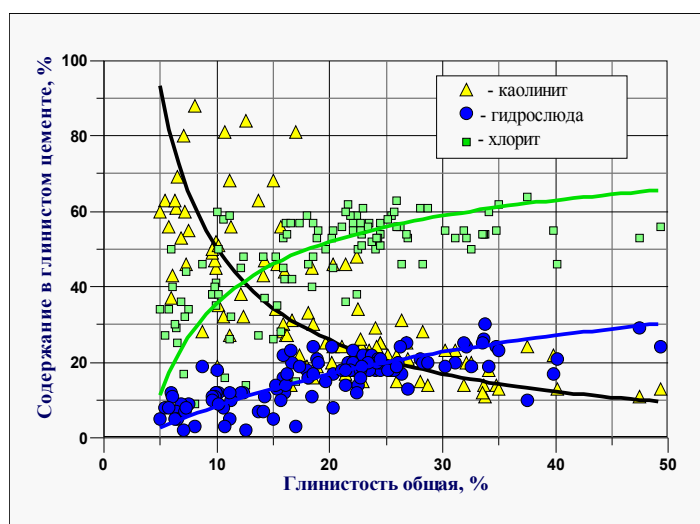


Рисунок 3. Изменение компонентного состава глинистой части в зависимости от содержания глинистых фракций

Анализ изображений в прокрашенных петрографических шлифах позволил выделить эффективное поровое пространство и рассчитать следующие параметры: площадь пор, их периметр, долю пор в породе, эквивалентный и гидравлический диаметр пор, оптическую пористость. Выделение отдельных пор в кластерах не проводилось. Капиллярные свойства пород были изучены методом центрифугирования. Максимальное капиллярное давление ограничено 2 МПа, что соответствует радиусу пор 0.07 мкм. По данным капилляриметрических исследований построены функции распределения каналов по размерам и определена доля пор, участвующих в фильтрации, получены зависимости насыщенности от капиллярного давления.

При сопоставлении параметров пор по шлифам (средний диаметр пор, средняя длина каналов) с результатами петрофизического исследования керна стандартными методами (с проницаемостью, с эффективной пористостью) наблюдается неплохая сходимость оптической пористости с проницаемостью. Значимые корреляционные связи отмечены для пористости и проницаемости со средним диаметром пор, со средней расчетной длиной каналов и со средним размером обломков, с соответствующей дифференциацией по типам пород. В результате совместного анализа данных капилляриметрии и оптических методов изучения структуры порового пространства выделено несколько типов пород: первый - с мелкими порами и относительно низкой проницаемостью; второй, с некрупными однородными по размерам порами и средними значениями проницаемости; третий - с высокой оптической пористостью и хорошей проницаемостью (Рис.4). Первые два типа характерны для пород-коллекторов штормового шельфа, третий тип соответствует отложениям канала.

Использование стандартных методов классификации пород по данным капилляриметрии через функцию Леверетта не дает возможности четко выделить породы разного типа без использования предварительной типизации пород по другим признакам. С учетом литофациального деления пород

разделение можно провести по J-функции (Рис.5а). Такие особенности функции Леверетта связаны, по-видимому, с различной глинистостью пород отдельных литолого-фациальных типов.

Отложения штормового шельфа

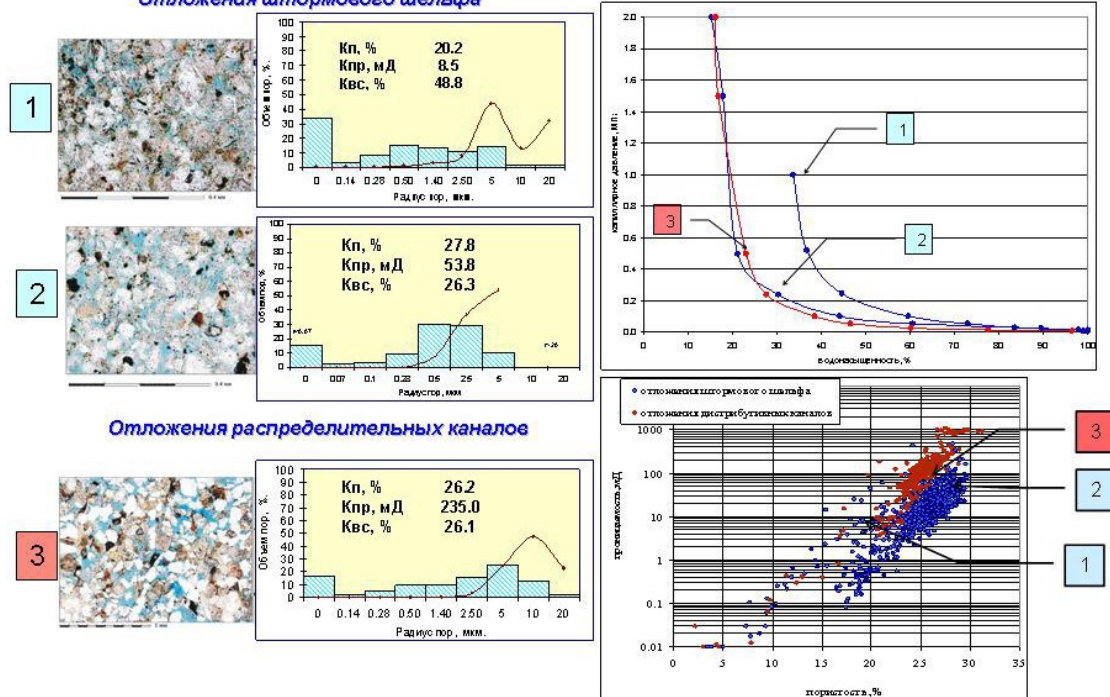


Рисунок 4 Сопоставление данных имидж-анализа и капиллярных исследований

Использование классификации по FZI (Индикатора зоны потока) предполагает выделение трех типов пород (Рис.5б). Классы были выделены на основе изменения пористости и проницаемости типичных пород-коллекторов и градации гидравлических свойств пород при одинаковой пористости.

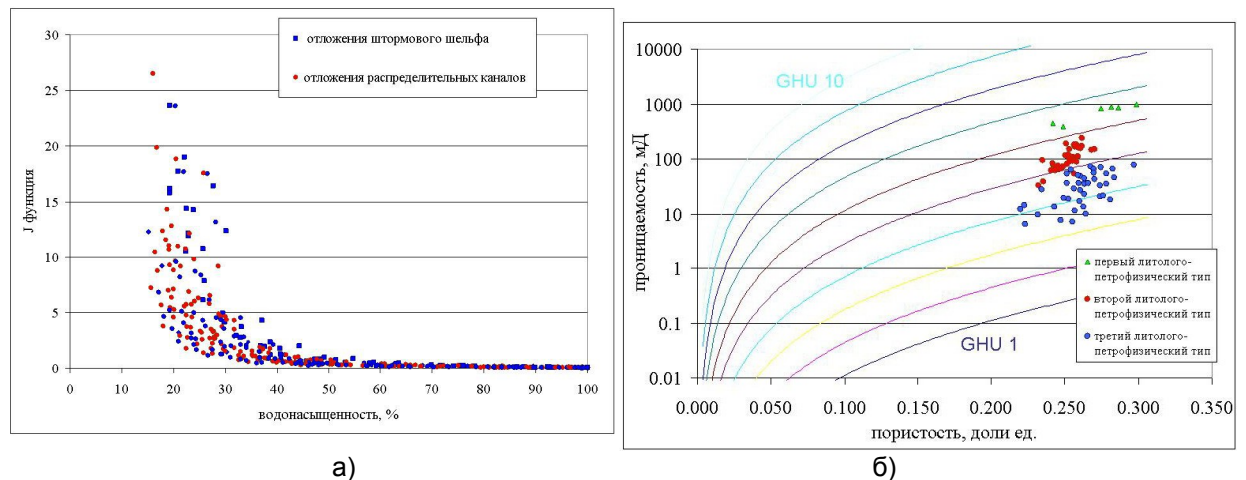


Рисунок 5. Классификация пород через функцию Леверетта с учетом литофациального деления (а) и сопоставление пористости и проницаемости по керну с выделением типов пород методом гидравлических единиц (б)

Различное содержание и тип цемента в штормовых отложениях и отложениях распределительных каналов определило и разный характер нефтенасыщения пород и коэффициента извлечения нефти. Если на зависимостях начального нефтенасыщения и коэффициента извлечения нефти от пористости литолого-фациальные типы не дифференцируются, то на зависимостях от проницаемости происходит четкое деление зависимости по литолого-фациальному типу породы.

Заключение

Условия формирования пород-коллекторов в значительной степени определяют фильтрационно-емкостные свойства пород. Особенно сильно это проявляется в пластах, сформированных в переходных обстановках.

Классификация пород только по условиям образования не всегда позволяет выделить все литолого-петрофизические типы пород в разрезе. Лучший результат дает комплексное использование различных методов, что позволяет с большей достоверностью делить породы-коллекторы на литолого-петрофизические типы.

При построении геолого-технологических моделей использование разных петрофизических моделей для каждого из выделяемых литолого-фациальных типов пород позволит повысить достоверность подсчета запасов и оптимизировать схему разработки месторождения.

Литература

1. J.O. Amaefule, M.Altunbay, D.Tiab, D.J.Kersey, D.K.Keelan Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells. SPE 26436 (1993).
2. В.П. Алексеев, Э.О. Амон, Ю.Н. Федоров и др.; под ред. В.П. Алексеева Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 325 с.