

УДК 553.98:552.513

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА СТРУКТУРУ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА И ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА**

*К.А.Костеневич, О.И.Белоус, С.А.Слюнкина*

Тюменское отделение «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз», г. Тюмень

**E-mail:** [Kostenevich\\_KA@surgutneftegas.ru](mailto:Kostenevich_KA@surgutneftegas.ru)

Для повышения достоверности оценки фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов горизонта ЮК<sub>2-6</sub> тюменской свиты северо-восточного склона Красноленинского свода, характеризующихся сложным геологическим строением, был привлечен широкий комплекс литологических и петрофизических исследований кернового материала. Проведена фациальная типизация отложений, изучен литологический состав пород, проведен анализ постседиментационных процессов и определены признаки как стадийных диа-катагенетических, так и наложенных эпигенетических изменений, выявлены зоны с различным проявлением вторичных процессов в породах-коллекторах, проведена оценка структуры пустотного пространства различного типа пород-коллекторов методом имидж-анализа и капилляриметрии. Изучены фильтрационно-емкостные свойства пород с учетом их фациальной принадлежности и оценено влияние первичных и вторичных факторов на коллекторские свойства пород.

**Ключевые слова:** условия осадконакопления, вторичные процессы преобразования пород, фильтрационно-емкостные свойства, порода-коллектор, структура пустотного пространства, литолого-петрофизический тип.

Отложения тюменской свиты на Красноленинском своде представляют собой толщу преимущественно глинистых пород с песчано-алевритовыми телами, нефтенасыщение которых приурочено к средней и верхней части свиты. Формирование горизонта в сложных полифациальных обстановках обусловило значительную латеральную и вертикальную неоднородность как в распространении пород-коллекторов, так и в изменении их петрофизических параметров. Отложения характеризуются невысокой пористостью, низкой проницаемостью и повышенной начальной водонасыщенностью. Коллекторы такого типа содержат значительные запасы углеводородов, но при разработке отличаются низкими дебитами, а сами запасы на ряде месторождений классифицируются как трудноизвлекаемые. Цель работы состояла в оценке влияния условий осадконакопления отложений и процессов вторичного преобразования пород на формирование структуры пустотного пространства и изменение фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов продуктивного горизонта ЮК<sub>2-6</sub> тюменской свиты в пределах нескольких лицензионных участков деятельности ОАО «Сургутнефтегаз», расположенных на северо-восточном склоне Красноленинского свода.

Результаты фациального анализа показали, что формирование отложений пластов ЮК<sub>6</sub>, ЮК<sub>5</sub> и частично пласта ЮК<sub>4</sub> происходило в континентальных условиях осадконакопления в пределах аккумулятивной аллювиальной долины. Постепенно континентальная обстановка осадконакопления сменяется на прибрежную равнину, подтапливаемую морем (верхняя часть ЮК<sub>4</sub> и пласт ЮК<sub>3</sub>). Здесь отмечены фации, типичные для переходных трансгрессивных обстановок – приливные отмели, лагуны, марши. Разви-

вались небольшие седиментационные системы, такие как намывные конусы, мелкие речные дельты. В пластах ЮК<sub>2,3</sub> преобладают фации, формировавшиеся в пределах прибрежного залива. Основная часть пластов ЮК<sub>2,3</sub> представлена переслаиванием алеврито-песчаных отложений мелких конусов выноса (субдельт), отложениями заливной дельты с алевритоглинистыми отложениями прибрежного залива, лагун, маршей, болот и приливных отмелей. В кровле пласта ЮК<sub>2</sub> развиты прибрежно-морские отложениями, формирование которых происходило преимущественно в обстановке префронтальной зоны пляжа [1, 2, 4].

Анализ обстановок осадконакопления позволил решить ряд практических задач, одна из которых прогноз распространения коллекторов. В зависимости от условий образования песчано-алевритовые тела продуктивного горизонта можно разделить на три типа. Установлено, что коллекторы пластов ЮК<sub>5,6</sub> сосредоточены в сложно построенных многоярусных песчаных русловых телах. В отложениях горизонта ЮК<sub>4</sub> коллекторы сосредоточены в песчано-алевритовых телах руслового генезиса и распределительных каналах дельт. Основная русловая система в пластах ЮК<sub>4</sub>-ЮК<sub>6</sub> проходила по Рогожниковскому ЛУ с юг-юго-востока на север-северо-запад, от нее были ответвления крупных русел (проток), имеющие направление с юго-запада на северо-восток. Несколько русловых систем более мелкого порядка развивались на Высотном и Назымском ЛУ (проходили с юго-запада на северо-восток). На развитие русловых систем и постепенное смещение их в восточном направлении оказывали влияние региональные тектонические движения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины. Таким образом, к *первому фациальному типу* отнесены песчано-алевритовые тела, формировавшиеся в гидродинамически активных обстановках с однонаправленным потоком - в руслах (условно назовем русловые тела). Толщины русловых песчаников пластов ЮК<sub>5,6</sub> изменяются от 1 до 14 м. В наиболее мощных разрезах русловых песчаников выделяется до 5 и более аллювиальных циклов. Вверх по разрезу их количество и толщина существенно сокращаются - в пласте ЮК<sub>4</sub> толщины песчано-алевритовых тел составляют 0.5-7.0 м.

Коллекторы, связанные с песчано-алевритовыми отложениями мелких конусов выноса прибрежного залива и конусов выноса надводной части прибрежной равнины, приурочены преимущественно к пласту ЮК<sub>3</sub> и частично к ЮК<sub>4</sub>. Эти тела объединены *во второй фациальный тип* (условно названы прибрежные конусы выноса). Толщина проградационных циклов конусов выноса составляет 0.6-1.5 м, толщина распределительных каналов дельт изменяется от 1 до 7.5 м. Каналы и конусы выноса имеют сложное пространственное распределение, как вертикально, так и горизонтально.

Коллекторы (пласт ЮК<sub>2</sub> и пласт ЮК<sub>3</sub>) приурочены к серии песчано-алевритовых тел, связанных с деятельностью приливных дельт, приливно-отливных отмелей, приливных каналов и т.д. Эти песчано-алевритовые тела, подвергавшиеся периодическому комбинированному воздействию волновых и разнонаправленных течениевых процессов, отнесены к *третьему фациальному типу* (условно назовем – приливно-отливные тела). Толщины песчано-алевритовых прослоев изменяются от 0.4 до 7.5 м. Они характеризуются вытянутой морфологией, со сложной конфигурацией и крайне неустойчи-

вым распределением мощности песчаного тела, как вдоль береговой линии, так и в крест её простираения.

Первичные факторы, формирующие осадок, в значительной степени определили коллекторские свойства пород горизонта ЮК<sub>2-6</sub>. Изначально наиболее благоприятными литолого-фациальными характеристиками с точки зрения распространения коллекторов и их петрофизических свойств обладали отложения руслового генезиса и дельтовых систем (первый и второй фациальные типы) – это и максимальная размерность обломков (в среднем 0.14-0.26 мм), и невысокое содержание глинистого материала (5-7 % на породу), и относительная однородность отдельных песчаных тел.

Отложения третьего фациального типа, несмотря на лучшие показатели сортировки обломков (при среднем размере зерна 0.08-0.12 мм), имеют пониженные, относительно первых двух типов ФЕС, в силу высокой текстурной неоднородности отложений и значительного количества глинистого материала (7-12 %). Но вторичные процессы преобразования отложений во многом нивелировали различия в петрофизических свойствах всех трех фациальных типов коллекторов. Хотя следует отметить, что степень развития вторичных процессов и их интенсивность зависят от первичных факторов [5].

В условиях нарастающего горного давления именно размерность обломочного материала и степень его отсортированности во многом предопределили направление и интенсивность развития вторичных процессов. Сохранению менее плотной упаковки обломков и активному перераспределению минеральной компоненты способствовал более однородный, крупнозернистый состав осадков. В более мелкозернистых и менее отсортированных разностях происходило неравномерное интенсивное уплотнение осадков и аутигенез [3, 5]. При анализе постседиментационных изменений большее внимание было уделено тем из них, которые оказали наиболее существенное влияние на структуру порового пространства и ФЕС: механическому уплотнению и коррозии обломков, выщелачиванию, переотложению новообразованных аутигенных минералов, и, особенно, изменению состава и структурных характеристик глинистого цемента. В породах-коллекторах, подверженных стадийным преобразованиям, сформировался весьма сложный по составу и типу цемент – глинистый и карбонатно-глинистый порово-пленочного, пленочно-порового типов, участками значительную роль играет регенерационный цемент. Часть пор выполнена каолинитом, карбонатными минералами и хлорит-гидрослюдистым материалом. Пленочная часть цемента имеет гидрослюдисто-хлоритовый состав.

В зависимости от типа цемента количество (на породу) порового карбоната не более 1-3 %, доля каолинита изменяется от 1 до 5 %, совокупная доля хлорита и гидрослюды составляет от 2 до 7 %, а количество смешаннослойной компоненты гидрослюдисто-монтмориллонитового ряда не превышает 1 %. В более крупнозернистых и отсортированных разностях преобладает глинистый цемент пленочно-порового типа с высокой долей каолинита. При уменьшении размерности обломочного материала в песчано-алевритовых породах преобладает порово-пленочный и поровый карбонатно-глинистый цемент, в составе которого возрастает доля гидрослюды, хлорита и количество порового карбоната. Если анализировать изменение состава глинистого материала

цемента пород-коллекторов от верхнего горизонта (ЮК<sub>2</sub>) к нижнему (ЮК<sub>6</sub>) и, согласно фациальной зональности, от отложений приливно-отливного типа к дельтовым и русловым, то наблюдается следующая тенденция: вниз по разрезу от переходных обстановок к континентальным увеличивается доля каолинита, уменьшается доля гидрослюдистой компоненты, а содержание хлорита и смешаннослойных образований принципиально не меняются.

В пределах изучаемого района выделены участки, где закономерности изменения свойств пород в зависимости от их фациальной принадлежности и степени их стадийной преобразованности были нарушены в результате гидротермально-метасоматического наложенного эпигенеза, обусловленного подтоком высокореакционных агрессивных флюидов различного состава. Минералогическими индикаторами проявления процессов наложенного эпигенеза являются глинистые минералы цемента – каолинит и ССО, и карбонатные минералы - кальцит и анкерит. Наложённые процессы (при ярком их проявлении) приводили в одних случаях к существенному увеличению количества (4-5 и до 10 % на породу) и степени кристаллической зрелости каолинита, в других случаях - к увеличению смешаннослойной компоненты глинистого цемента (более 2-4 % на породу) и одновременно к увеличению доли карбонатного материала (5 и более % на породу). В первом случае вторичные процессы способствовали сохранению породы как коллектора, во втором случае фильтрационные свойства породы резко ухудшались. Подмеченным геохимическим индикатором проявления процессов наложенного эпигенеза является зональное изменение типа пластовых вод и их минерализации.

Влияние постседиментационных преобразований на фильтрационно-емкостные свойства пород неоднозначно, так как в породах отмечается одновременное развитие нескольких постседиментационных процессов, иногда противоположно направленного действия, и не всегда уверенно определяется стадийность преобразований. Все это вносит неопределенность при оценке влияния вторичных факторов на коллекторские свойства пород. В целом, пустотное пространство пород-коллекторов горизонта ЮК<sub>2-6</sub> формировалось под влиянием как седиментационных факторов, так и в результате вторичных преобразований. Стадийные и наложенные вторичные процессы, в отдельных случаях способствуя увеличению емкостных характеристик породы, в общей массе привели к усложнению структуры порового пространства и ухудшению способности пород к фильтрации флюидов. В связи с чем, породы, наименее подверженные воздействию неблагоприятных вторичных факторов, в которых в большем количестве сохранились более крупные седиментационные поры, обладают лучшими фильтрационно-емкостными свойствами.

Комплексный анализ влияния литологических характеристик на формирование структуры пустотного пространства и петрофизические свойства позволил разделить песчано-алевритовые породы на три литолого-петрофизических типа (рисунок 1).

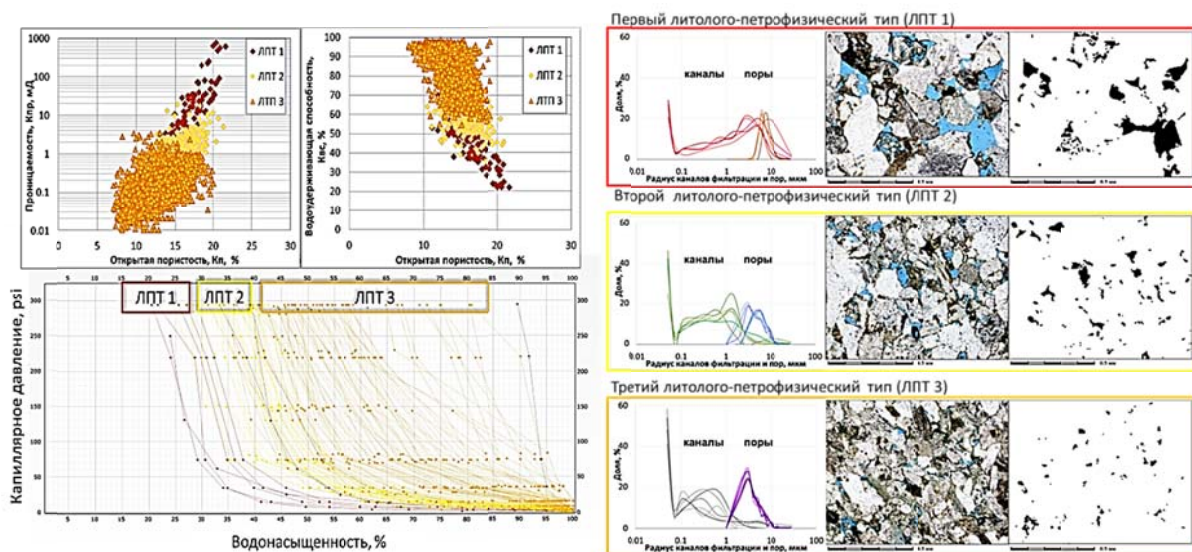


Рисунок 1. Классификация пород по литолого-петрофизическим типам

Первый литолого-петрофизический тип (ЛПТ 1) представлен среднезернистыми, средне-мелкозернистыми песчаниками. Степень сортировки обломочного материала хорошая до средней. Количество цемента 5-10 %. Состав цемента глинистый, по типу пленочно-поровый и кварцевый конформно-регенерационный. В основном, породы не претерпели значительных вторичных преобразований. Здесь проявили себя процессы, способствовавшие укреплению каркаса породы и сохранению первичной пустотности, а также наложенная каолинитизация при проработке глубинными агрессивными флюидами. Структуры взаимного приспособления и внедрения развиты слабее всего по сравнению с породами других ЛПТ. Свободные поры распределены в породе неравномерно, участками отмечается развитие вторичной зерновой пористости, сформированной при выщелачивании зерен полевых шпатов. В породах самая высокая доля седиментационных пор и максимальный их размер. Пористость изменяется от 12 до 22 % (в среднем 17 %), проницаемость изменяется от 1 до 751 мД (в среднем 11 мД). Доля пород ЛПТ 1 в общей массе продуктивного горизонта 1 %.

Второй литолого-петрофизический тип (ЛПТ 2) представлен мелкозернистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами. Степень сортировки зерен средняя. Состав цемента глинистый, по типу порово-пленочный и кварцевый конформно-регенерационный. Содержание цемента не превышает 7-10 %. Свободные поры мелкие и распределены в породе неравномерно. Преобладают первичные поры, доля несвязанных вторичных пор невысока. Интенсивность вторичных процессов не высока. Пониженные коллекторские свойства по сравнению с ЛПТ 1 обусловлены менее благоприятными седиментационными факторами. Пористость изменяется от 11 до 23 % (в сред-

нем 16 %), проницаемость - от 0.1 до 76 мД (в среднем 1.3 мД). Доля пород ЛПТ 2 в общей массе продуктивного горизонта 5 %.

*Третий литолого-петрофизический тип (ЛПТ 3)* представлен мелкозернистыми песчаниками, мелко-крупнозернистыми алевролитами. Состав цемента глинистый и карбонатно-глинистый. Содержание цемента составляет 10-15 %, в том числе доля карбонатной части около 5 %. Породы претерпели значительные вторичные преобразования. Свободные поры мелкие, редкие, распределены в породе крайне неравномерно, значительна доля вторичных изолированных пор. Сочетание неблагоприятных седиментационных факторов с широким развитием вторичных процессов предопределили низкие ФЕС пород. Проницаемость пород по керну изменяется от 0,001 до 5 мД (в среднем для всей выборки 0.12 мД, для коллекторов – 0.5 мД при содержании коллекторов 9.4 %), пористость - от 7 до 20 % (в среднем 13 %). Доля пород ЛПТ 3 в общей массе продуктивного горизонта 79 %.

### **ВЫВОДЫ:**

1. Основным фактором, контролирующим распространение коллекторов в продуктивном горизонте ЮК<sub>2-6</sub>, выступают условия осадконакопления; вторичные процессы скорректировали ФЕС, принципиально не изменив первичных закономерностей размещения коллекторов.

2. Породы обладают пониженными фильтрационно-емкостными свойствами. Это связано как с условиями образования, так и с широко развитыми вторичными процессами преобразования пород. Коллекторы горизонта ЮК<sub>2-6</sub> относятся к сложнопостроенным, запасы нефти к трудноизвлекаемым.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексеев В.П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Северной Евразии). - Екатеринбург: УГГУ, 2007. - 209 с.
  2. Вакуленко Л.Г., Ян П.А. Седиментогенез нефтеносного горизонта Ю2 и его значение при поисках и разведке залежей углеводородов // Геология нефти и газа. -2010. –Т. 361. - № 1. - с. 61-66.
  3. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. -Л.: Недра, 1992. – 239 с.
  4. Реддинг Х. Г., Коллинсон Дж. Д., Аллен Ф. А. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. –Т 1: Пер. с англ. / Под ред. Х. Реддинга. - М.: Мир, 1990. -352 с.
  5. Япаскурт О.В. Аспекты теории постседиментационного литогенеза // Литосфера. -2005. - №3. - с. 3-30.
-



**Костеневич Кристина Альбертовна.** Заведующая лабораторией научно-исследовательского отдела литологии, Тюменского отделения «СургутНИПИнефть», ОАО «Сургутнефтегаз», г. Тюмень.



**Белоус Олеся Ивановна.** Старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела литологии, Тюменского отделения «СургутНИПИнефть», ОАО «Сургутнефтегаз», г. Тюмень.



**Слюнкина Снежанна Анатольевна.** Научный сотрудник научно-исследовательского отдела литологии, Тюменского отделения «СургутНИПИнефть», ОАО «Сургутнефтегаз», г. Тюмень.