УДК 622.276

ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИМ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

RECONSTRUCTION OF THE URENGOY FIELD DEPOSITS FORMATION BASED ON THE LITHOLOGY-MINERALOGY AND PARTICLE-SIZE ANALYSIS CHARACTERISTICS

А. В. Паршуков, Е. А. Могутова, А. А. Нежданов
A. V. Parshukov, E. A. Mogutova, A. A. Nezhdanov

ООО «ТюменНИИгипрогаз», ООО «Газпром геологоразведка», г.Тюмень

Ключевые слова: ***ачимовская толща; горные породы; литолого-минералогический состав; гранулометрический анализ; турбидитовый поток***
Key words: ***Achimov deposits; rocks; litho-mineralogical composition; grain-size analysis; turbidity current***

Ачимовские отложения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ) содержат уникальные по объему запасы жидких и газообразных углеводородов. Несмотря на длительное изучение, условия образования этих отложений и их литолого-минералогические особенности изучены недостаточно полно как для детально-

го восстановления условий их формирования, так и для однозначного определения типа коллекторов (поровый, трещинно-поровый). Общепринятым считается турбидитовый и подводно-оползневый генезис ачимовских отложений [1], однако практически не изучен вопрос о степени унаследованности ачимовскими песчано-алевритовыми породами литологических и структурных признаков отложений шельфовых источников питания обломочным материалом. Это имеет большое значение для восстановления условий образования ачимовских резервуаров и генетической интерпретации данных литологических исследований.

Именно решению этого вопроса и посвящена данная статья, в которой проанализированы результаты детальных литолого-минералогических и гранулометрических исследований ачимовских отложений по скв. 739 УНГКМ. Скважина пройдена с полным отбором керна из ачимовских пластов $Ач_1$ и $Ач_3$, что дало возможность изучить различными методами (петрографические шлифы, гранулометрический ситовой, рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализы, определение коллекторских свойств, плотности и карбонатности) более 150 образцов песчано-алевритовых пород.

Ачимовская толща УНГКМ, представленная пластами от $Ач_6$ (берриас) на востоке до $Ач_1$ (ранний валанжин) на западе, залегает в основании неокома в виде кулисообразных линзовидных тел субмеридионального простирания. Рассматриваемые отложения представлены переслаиванием песчано-алевритовых, алевритоглинистых и глинистых пород, среди которых преобладают псаммитовые разности. Мощности песчаных пластов изменяются от 2–3 до 70–80 м, чаще составляя 20–50 м. Общая песчанистость разрезов ачимовских отложений и толщины отдельных песчаных и песчано-алевритовых пластов Уренгойского района уменьшается с востока на запад от $Ач_6$ к $Ач_2$-$Ач_1$ [1].

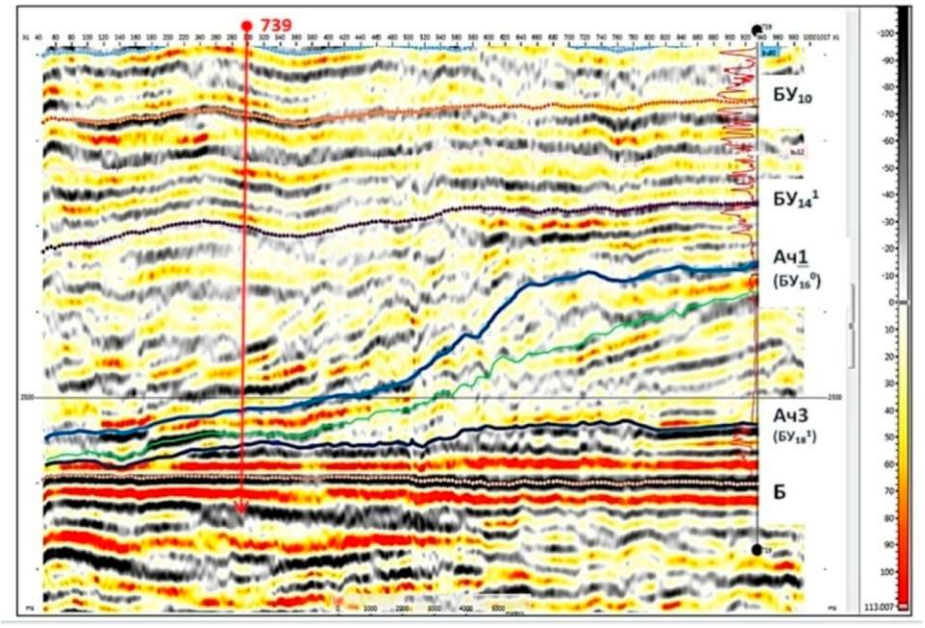


Рис. 1. ***Фрагмент выровненного на отражающий горизонт Б (кровля баженовской свиты) временного разреза МОГТ 3D по линии 2720 в районе скв. 739***

Ачимовские песчано-алевритовые пласты сформировались за счет сноса обломочного материала с прибрежно-морских и шельфовых террас, расположенных восточнее. Поэтому возможна уверенная корреляция ачимовских и шельфовых резервуаров по материалам сейсморазведки МОГТ и геофизических исследований скважин (ГИС). Ачимовский пласт $Ач_1$ синхронен шельфовому песчаному пласту $БУ_{16}^{0}$, а пласт $Ач_3$ — пласту $БУ_{18}^{1}$. Сейсмостратиграфические исследования свидетельствуют, что

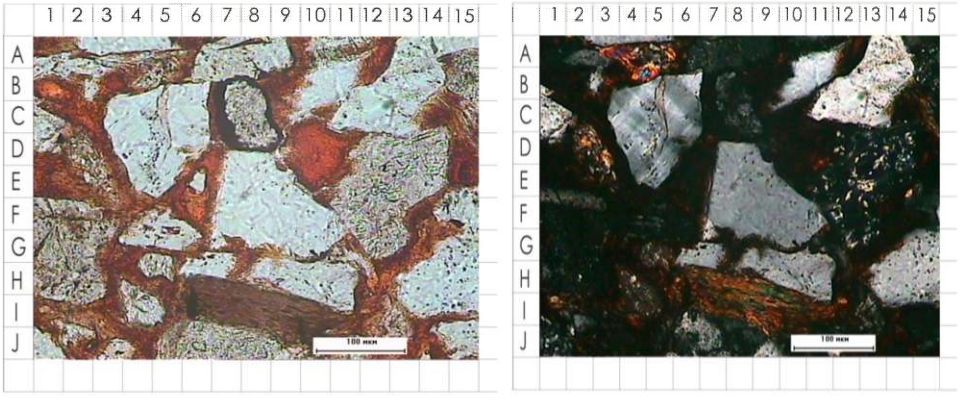
формирование пласта $Ач_3$ и более древних ачимовских комплексов происходило в условиях относительно низкого стояния уровня неокомского моря, а пластов $Ач_2$ и $Ач_1$ — при высоком его стоянии. Поэтому на сейсмических разрезах пласту $Ач_3$ и более древним отвечают протяженные, слабо наклоненные в западном направлении клиноформы, а пласту $Ач_1$ — более крутые и амплитудные клиноформы (рис. 1).

Пласт $БУ_{16}^{0}$, синхронный пласту $Ач_1$, имеет баровый генезис и представлен серией субмеридиональных линз, которые отождествляются с барами открытого моря. Пласт $БУ_{18}^{1}$, который является источником терригенного материала для ачимовского пласта $Ач_3$, имеет покровное распространение и связан с фациями дельтовой равнины.

Область распространения пласта $Ач_3$ имеет большую площадь по сравнению с более молодыми ачимовскими телами и протягивается с востока на запад на расстояние около 20 км. Пласт $Ач_1$ распространен на меньшей площади и в широтном направлении отдельные ачимовские линзы ($Ач_1^{1}$, $Ач_1^{2}$, $Ач_1^{3}$) протягиваются в направлении с востока на запад только на 5–7 км.

Результаты выполненных исследований позволили авторам сделать вывод о высокой степени унаследованности ачимовскими отложениями литолого-минералогических и структурных особенностей пород в прибрежных и мелководно-морских источниках питания терригенным материалом.

Литолого-минералогическая характеристика пород. Породы пласта $Ач_1$ (интервал 3 470–3 525 м) представлены песчано-алевритовыми отложениями. По пласту было отобрано и исследовано 50 образцов. Обломочная часть песчано-алевритовых пород рассматриваемого интервала представлена зернами кварца (43–46 % от обломочной части), полевых шпатов (38–42 %) и обломками пород (12–19 %), среди которых преобладают метаморфические сланцы, состоящие главным образом из кварца (кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые и т. п. сланцы, а также кварциты). Содержание калиевых полевых шпатов в составе пород-коллекторов не превышает 7–8 %. Встречаются интенсивно выщелоченные (с образованием пустот) зерна кислых плагиоклазов. Типичный облик песчаника пласта $Ач_1$ показан на фотографии шлифа (рис. 2). Это песчаник мелкозернистый, алевритистый, сложенный остроугольными и полуокатанными обломками преимущественно кварца и полевых шпатов. Среди обломков полевых шпатов преобладают кислые плагиоклазы, зерен калиевых полевых шпатов гораздо меньше. Обломки пород представлены преимущественно разновидностями кварцитовых сланцев. Отмечаются также обломки слюд (см. рис. 2, квадранты А — 4–5, Н-I — 6–12) и хлоритов (С – 15). Обломочные зерна подвергались растворению (выщелачиванию) и регенерации. В результате этих процессов происходило формирование дополнительной вторичной емкости (левая часть снимков). Глинистый цемент песчаников представлен в основном эпигенетическим пленочным хлоритом магнезиально-железистого состава (65–80 % от суммы глинистых минералов).



а б

Рис. 2. ***Фотография шлифа в обычном (а) и поляризованном свете (б) (скв. 739, глубина отбора — 3 475,94 м, пласт $Ач_1$)***

Образование пленочного эпигенетического хлорита на обломках хорошо видно при исследовании образцов пород с применением растрового электронного микроскопа (РЭМ) (рис. 3).

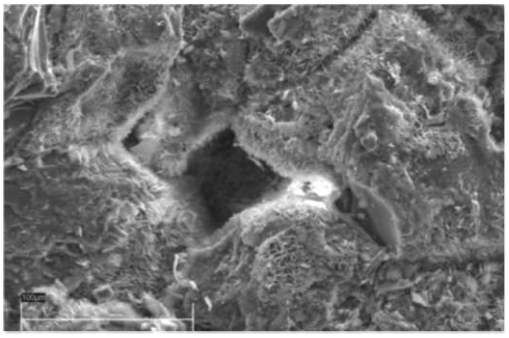


Рис. 3. ***Фрагмент фотографии РЭМ. Морфология ромбовидной открытой поры, окруженной остроугольными «лохматыми» обломочными зернами, покрытыми пленочным эпигенетическим хлоритом (скв. 739 УКНГКМ, пласт Ач$_1$, глубина отбора — 3 475,94 м)***

Второй по значимости (вкладу в сумму глинистых минералов) является гидрослюда, доля которой составляет 20–35 %. Смешанослойные образования (ССО) с небольшой долей набухающих слоев присутствуют в виде примеси (не более 5 % от суммы глинистых минералов). Суммарное содержание глинистого цемента в песчаниках составляет в среднем 8–15 %. Кроме глинистого в песчано-алевритовых породах Ач$_1$ присутствует также поровый карбонатный цемент, в составе которого преобладает доломит. Пирит в рассматриваемых отложениях почти отсутствует.

В глинистых алевролитах и алевритистых глинах основными глинистыми минералами являются хлориты, но в них, в отличие от песчаников, присутствуют терригенные хлориты (около 55 % от суммы глинистых минералов) и гидрослюда (35 %). Каолинит полностью отсутствует, а доля ССО составляет примерно 10 % от суммы глинистых минералов.

Для изучения литолого-минералогического состава пород пласта Ач$_3$ (интервал 3 470–3 525 м) было отобрано и исследовано различными методами более 100 образцов. Обломочная часть отложений, слагающих пласт Ач$_3$, представлена породами, аналогичными породам пласта Ач$_1$, а именно: обломками кварцевого и полевошпатового состава с небольшой примесью обломков метаморфических сланцев (кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые сланцы, а также кварциты). Реже встречаются обломки изверженных пород.

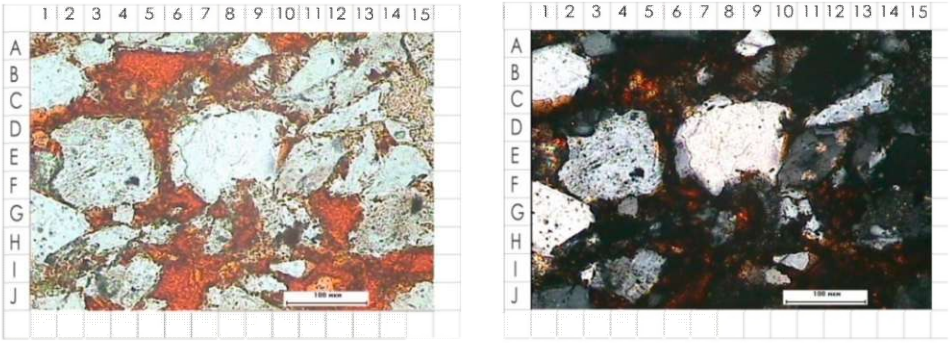
Наблюдается слабое преобладание зерен кварца (37–44 %) над другими обломочными компонентами. Отмечается очень низкое содержание обломков калиевых полевых шпатов, концентрация которых в верхней части рассматриваемого интервала составляет всего около 3–5 %, вниз по разрезу их содержание уменьшается до нуля. Количество зерен альбита и кислых плагиоклазов составляет 30–37 %. Изредка встречаются интенсивно выщелоченные зерна кислых плагиоклазов, причем образовавшиеся в них пустоты прокрасились смолой, то есть сформировавшаяся в них вторичная пустотность является эффективной. Иногда образовавшиеся пустоты оказываются заполненными вторичным (эпигенетическим) каолинитом. Обломки пород (13–27 %), так же как и в пласте Ач$_1$, представлены кварцевыми сланцами. Для интервала 3 546–3 580 м характерно присутствие углефицированного органического материала в рассеянной форме в виде углистого детрита и в концентрированном виде (углистые прослои).

В пласте Ач$_3$ встречаются песчано-алевритовые породы, обогащенные карбонатным материалом, представленным доломитом и анкеритом, реже — сидеритом. Карбонатный цемент обычно сгустковый, контактный, поровый, до базального. Доломит-анкеритовый состав имеет цемент, частично выполняющий отдельные поры даже в хорошо проницаемых обломочных породах. Для базального цемента, характерного для отдельных карбонатизированных прослоев, типична пойкилитовая структура. Сидерит присутствует в виде мелких стяжений (сгустков), часто деформированных окружающими зернами, что свидетельствует о раннедиагенетическом его происхождении. Эти стяжения имеют сложный состав. Кроме сидерита и, возможно, анкерита в них присут-

ствуют мелкие многочисленные чешуйки каолинита, а также тонкодисперсный растительный детрит.

В целом для пласта $Ач_3$, особенно для прослоев, имеющих относительно высокие коллекторские свойства, характерна более значительная степень вторичных (катагенетически-гидротермальных) преобразований, чем для пласта $Ач_1$, что выражено в интенсивном выщелачивании и регенерации кварца и полевых шпатов, новообразовании каолинита, доломита, альбита, хлорита и др. минералов.

Содержание глинистого цемента в обломочных породах изменяется от 3–5 % до 30–35 %, возрастая в слабопроницаемых и низкопористых разностях. Глинистый цемент представлен главным образом иллитом (25–55 % от суммы глин), каолинитом (20–35 %), хлоритом (15–25 %), и ССО (5–10 %). Типы глинистого цемента — контактовый, пленочный и поровый. Пример типичного песчаника пласта $Ач_3$ представлен на фотографии шлифа (рис. 4).



а **б**

Рис. 4. ***Фотография шлифа в обычном (а) и поляризованном свете (б) (скв. 739, глубина отбора 3 559,69 м, пласт $Ач_3$)***

Это песчаник мелкозернистый, слабо карбонатный, сложенный остроугольными обломками преимущественно кварцевого и полевошпатового состава. Обломочные зерна кварца и кислых плагиоклазов подверглись растворению (выщелачиванию) и регенерации, в результате чего сформировались конформно-регенерационные типы контактов (правая часть снимков). Содержание глинистого цемента составляет 15–17 %. Основными глинистыми минералами являются гидрослюда (около 40 %), каолинит (около 35 % от суммы глин) и хлорит (примерно 25 %). Каолинит часто заполняет все поровое пространство, которое из-за этого прокрашивается очень слабо (см. рис. 4, квадранты B-C — 14–15). Участками встречается доломит-анкеритовый цемент контактно-порового типа (4–6 %). Исследования методом РЭМ (рис. 5) позволяют увидеть в центре поры новообразованные кристаллы альбита, в правом углу снимка — регенерированное обломочное зерно кварца, внизу слева — обломок альбита с хорошо выраженной плоскостью спайности.

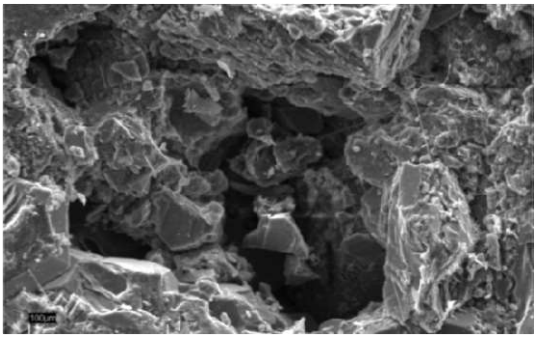


Рис. 5. ***Фрагмент фотографии РЭМ (скв. 739 УГГКМ, пласт. $Ач_3$, глубина отбора 3 559,69 м***

Гранулометрический состав ачимовских отложений. Важной частью всех палеогеографических реконструкций является анализ гранулометрического состава пород,

так как особенности распределения частиц по размерам являются прямыми показателями динамики седиментационных процессов [2].

Был применен ситовой и гидравлический метод определения гранулометрических фракций. По результатам определения грансостава для каждого образца построены кривые распределения размера частиц породы, рассчитан коэффициент сортировки S_0 по Траску, эксцесс Ex.

Пласт $Ач_1$ представлен мелкозернистым алевритистым песчаником и песчаным крупнозернистым алевролитом. Для пород пласта $Ач_1$ гистограммы отличаются крутовершинной и очень крутовершинной формой, что свидетельствует о хорошей сортировке обломочных зерен.

Пласт $Ач_3$ представлен переслаиванием мелкозернистого песчаника и песчанистого крупнозернистого алеврита. Он характеризуется преобладанием мелкозернистой фракции (20–40 %) (рис. 6). Гистограммы шире и имеют более низкие вершины, чем кривые верхнего интервала, что указывает на более низкую степень сортировки обломочного материала.

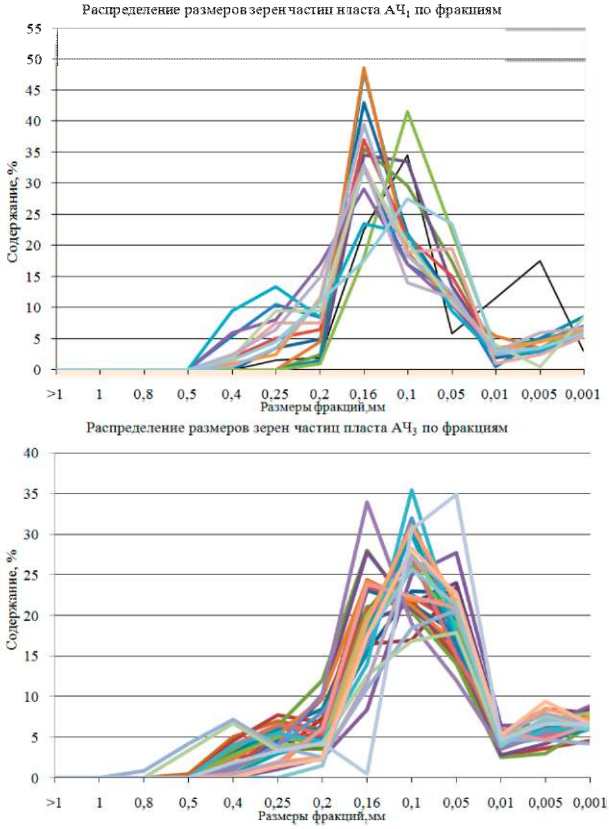


Рис. 6. ***Распределение размеров зерен частиц пласта $Ач_1$ и $Ач_3$ скв. 739-Р УНГКМ***

Расчет значений коэффициента сортировки по Траску (S_0) позволяет количественно оценить различия в степени сортировки обломочного материала в рассматриваемых отложениях (рис. 7).

Пласт $Ач_1$ характеризуется сравнительно высокой и однородной сортировкой песчаников со значениями S_0 около 1,5, тогда как в пласте $Ач_3$, наряду с хорошо отсортированными породами, встречаются разности со значениями S_0, превышающими 3–5 и более.

Для песчано-алевритовых пород пласта $Ач_1$ величина эксцесса преимущественно стабильна и изменяется от 2,4 до 4,8, среднее значение составляет около 2,77 (рис. 8). Незначительные изменения относительно высокого коэффициента сортировки и положительные высокие значения эксцесса свидетельствуют о хорошей степени сортировки

и стабильной динамике среды седиментации, а также о том, что скорость переработки обломочного материала, превышала интенсивность его привноса.

Для пласта $Ач_3$ характерны резкие колебания значений эксцесса (от 0,8 до 3,9) при среднем значении около 1,9 (см. рис. 8), что свидетельствует о резко изменчивой гидродинамике среды осадконакопления и более слабой сортировке обломочного материала.

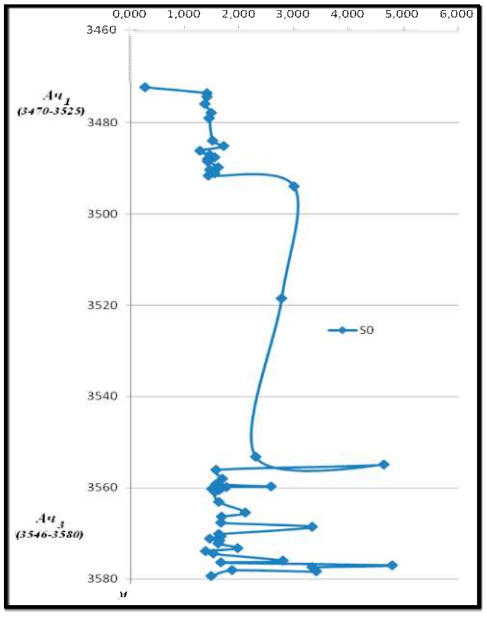


Рис. 7. ***Изменение значений коэффициента сортировки по глубине***

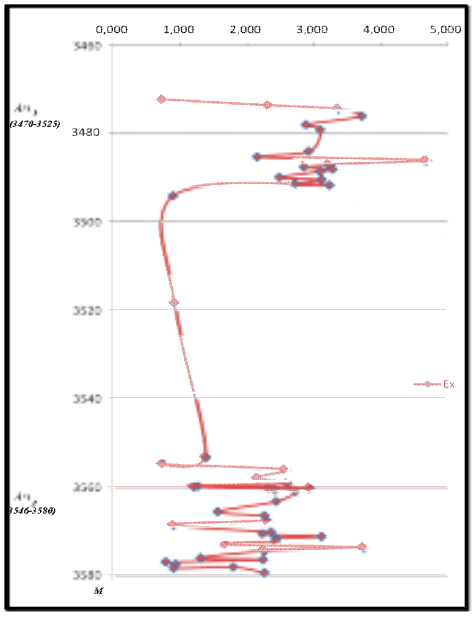


Рис. 8. ***Изменение значений эксцесса по глубине***

Накопление ачимовских отложений, сложенных песчано-алевритовым материалом, происходило ниже базиса действия волн (глубины ачимовского бассейна оцениваются в диапазоне 300–500 м) путем перемещения обломков с мелководья в мутьевых (турбидитных) потоках. Механизм изменения осадков в процессе турбидитного мотогенеза изучен слабо. Хотя модели турбидитных потоков описаны многими исследователями, Д. Стоу отмечает, что «…увидеть их в природе никому не удавалось» [3]. Поэтому, несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных турбидитам, однозначные данные об изменении структуры песчано-алевритовых осадков мелководья вследствие транспортировки турбидитами отсутствуют. Ознакомление же с моделями глубоководных терригенных отложений [3] показывает, что в конкретных геологических условиях в глубоководную часть бассейна могут поступать переотложенные породы самого разнообразного состава — от крупных оползневых блоков с ненарушенными и частично нарушенными текстурами в виде глыб и валунов до тонкозернистых пород, включая пески, алевриты и глины. Отмечено также, что в условиях интенсивного поступления на шельф обломочного материала он может переотлагаться турбидитными потоками высокой плотности без существенного изменения сортировки и гранулометрического состава осадков [3].

Наличие береговых течений на глубинах 300–500 м, которые могли бы переносить и сортировать обломочный материал вдоль подножий шельфовых террас, довольно гипотетично и не подтверждено седиментологическими исследованиями современных глубоководных отложений. Так, по мнению Х. Рединга и др. [3], «нормальные» или почти постоянные донные течения представляют собой медленные потоки по существу «чистой» воды с низкой концентрацией переносимых наносов (не более 0,3 мг/л против 50–250 г/л в турбидитных течениях) и очень низкими скоростями седиментации (менее 1 см/тыс. лет против 5 м/млн лет и более в турбидитах). Поэтому связывать с

такими течениями возможность формирования песчаных пластов значительной мощности оснований нет.

Полученные нами данные свидетельствуют о высокой степени унаследованности ачимовскими отложениями структурных и литологических признаков мелководных отложений. Слагающие пласт $Ач_3$ осадки — это, скорее всего, переотложенные отложения дельты, так как в них довольно много углефицированного детрита, сидерита, повышена концентрация каолинита, почти отсутствует пирит, они характеризуются сравнительно низкой сортировкой обломочного материала, резко изменчивой динамикой среды седиментации, что типично для аллювиальных и дельтовых отложений.

Однородное строение пласта $Ач_1$, высокая и однородная степень сортировки обломочного материала свидетельствуют о том, что «материнскими» осадками для этих образований служили, скорее всего, прибрежно-морские баровые песчано-алевритовые отложения, что и соответствует баровому генезису одновозрастных с пластом $Ач_1$ шельфовых пластов группы $БУ_{16}^{0}$. Кроме того, на основании высокой однородности отложений пласта $Ач_1$ напрашивается вывод о том, что эти породы отложились одномоментно, например во время крупного шторма или другого катастрофического волнения (цунами), что привело к смыву осадков баров открытого моря и их захоронению в ачимовской толще. Огромную геологическую роль катастрофических природных явлений подчеркивал академик Д. В. Наливкин [4].

Источники обломочного материала, поставлявшегося во время накопления осадков $Ач_1$ и $Ач_3$, были разными, что доказывается различиями в соотношениях и содержании обломков различного минерального состава. Например, в пласте $Ач_3$ калиевые полевые шпаты полностью отсутствуют в нижней его части и появляются в небольшом количестве в его верхней части. Среди обломков немного преобладает кварц. В верхнем пласте $Ач_1$, напротив, содержание калиевого полевого шпата заметно выше, и преобладают полевошпатовые обломки, а не кварц. Ассоциация глинистых минералов пласта $Ач_3$ характеризуется преобладанием гидрослюд и каолинита, что типично для континентальных отложений, а пласт $Ач_1$ — преобладанием хлорита и гидрослюд, что более свойственно морским отложениям. Однако эти различия могут быть связаны не с палеогеографией источников сноса, а обусловлены стратиграфически, так как пласты $Ач_1$ и $Ач_3$ имеют разный возраст, отличающийся, по нашим расчетам, приблизительно на 3–4 млн лет.

Однозначно свидетельствует о наследовании ачимовскими отложениями генетических признаков осадков области питания гранулометрический состав обломочных пород. Высокая степень сортировки и однородность песчано-алевритовых пород $Ач_1$ подтверждают их формирование за счет размыва баровых отложений пласта $БУ_{16}^{0}$, а значительная неоднородность, худшая сортировка и присутствие углистого материала в породах $Ач_3$ свидетельствуют об образовании за счет переотложения дельтовых и аллювиальных осадков пласта $БУ_{18}^{1}$.

Принятие модели формирования ачимовских отложений путем переотложения шельфовых осадков без существенного изменения их структуры объясняет наличие в ачимовской толще прослоев с высокими коллекторскими свойствами, более характерными для шельфовых отложений.

При интерпретации данных гранулометрического анализа часто используют так называемые генетические диаграммы (диаграммы Л. Б. Рухина, Р. Пассега, Г. Ф. Рожкова, К. К. Гостинцева и др.), на которых по парным комбинациям различных гранулометрических параметров (Cmax, Md, So, As, Ex, энтропия и т. п.) выделяют области осадков разного генезиса (эоловые, пляжевые, баровые, течениевые, включая аллювиальные, турбидитовые и др.). При использовании таких диаграмм зачастую получают результаты, не укладывающиеся в общепринятые седиментационные модели.

Например, на основании того, что ряд образцов ачимовских песчаников на динамогенетической диаграмме Г. Ф. Рожкова лег в поле волновой проработки обломочного материала, авторы [5] предполагают мелководный генезис ачимовской толщи на некоторых изученных площадях, подкрепляя этот вывод палеобатиметрическими реконструкциями и анализом текстур. Как нам представляется, генетические диаграммы не учитывают эффект переотложения осадков и в случае захоронения их в менее активных гидродинамических условиях не могут служить основанием для определения гене-

зиса осадков. Это ограничение данного метода достаточно хорошо известно в литологии [6]. Если использовать, например, диаграмму эксцесс-асимметриии К. К. Гостинцева (в отличие от известной диаграммы Г. Ф. Рожкова, в которой для определения коэффициентов используется расчет количества зерен во фракциях, она основана на общепринятых весовых процентах), то большинство проб ачимовских песчано-алевритовых пород по рассмотренной нами скв. 739 ложится в поля морских осадков с активным волновым воздействием.

Таким образом, выполненная авторами интерпретация минералогического и гранулометрического состава пород по скважине 739 УНГКМ подтверждает вывод о высокой степени унаследованности ачимовскими отложениями литолого-минералогических и структурных особенностей пород в источниках их питания терригенным материалом, в то же время глубоководный (турбидитовый) генезис ачимовских отложений не вызывает сомнений.

Список литературы

1. Нежданов А. А., Пономарев В. А., Туренков Н. А., Горбунов С. А. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 247 с.
2. Вакуленко Л. Г., Предтеченская Е. А., Чернова Л. С. Опыт применения гранулометрического анализа для реконструкции условий формирования песчаников продуктивных пластов васюганского горизонта (Западная Сибирь) // Литосфера. – 2003. – № 3. – С. 99-108.
3. Рединг Х. (ред.) Обстановки осадконакопления и фации. – М.: Мир, 1990. – Т. 2 – 384 с.
4. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. – Л.: Недра, 1969. – 487 с.
5. Курчиков А. Р., Бородкин В. Н., Храмцова А. В. Условия формирования и атлас текстур пород ачимовского комплекса севера Западной Сибири. – Новосибирск: СО РАН, 2010. – 130 с.
6. Фролов В. Т. Литология. Кн. 2. Учеб. пособие. – М.: МГУ, 1993. – 432 с.

Сведения об авторах

***Нежданов Алексей Алексеевич**, д. г.-м. н., заместитель начальника по научной работе инженерно-технического центра ООО «Газпром геологоразведка», тел. 8(3452)540463*

***Паршуков Александр Владимирович**, директор Тюменского научно-исследовательского центра ООО «ТюменНИИгипрогаз», тел. 8(3452)274182, e-mail: ParshukovAV@tngg.ru*

***Могутова Екатерина Анатольевна**, ведущий инженер Тюменского научно-исследовательского центра ООО «ТюменНИИгипрогаз», тел. 8(3452)274182, e-mail: MogutovaEA@tngg.ru*

Information about the authors

***Nezhdanov A. A.**, Doctor of Geology and Mineralogy, deputy head for scientific work of the Engineering and Technical Center of LLC «Gasprom geologorazvedka», phone: 8(3452)540463*

***Parshukov A. V.**, Director of the Tyumen Research Center of LLC «TymenNIIgiprogas», phone: 8(3452)274182, e-mail: ParshukovAV@tngg.ru*

***Mogutova E. A.**, leading engineer of the Tyumen Research Center of LLC «TymenNIIgiprogas», phone: 8(3452)274182, e-mail: MogutovaEA@tngg.ru*