

Особенности состава и строения продуктивных отложений викуловской свиты Красноленинского свода и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства

Н.И. Коробова¹, Н.С. Шевчук^{1*}, Е.Е. Карнюшина¹, Р.С. Сауткин¹, Е.А. Краснова^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

На формирование фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов викуловской свиты Красноленинского месторождения оказали влияние как седиментологические факторы, так и вторичные процессы литогенеза. К первым относятся условия осадконакопления отложений викуловской свиты, которые на начальных этапах ее формирования контролировались развитием системы врезанных речных долин, этапы заполнения которых, как и их состав, имеют свои особенности. В результате сформированы различные генетические типы отложений. Формирование верхней части викуловской свиты происходило в мелководно-морской обстановке в условиях штормового и волнового мелководья, что отразилось на тонкослоистом строении природного резервуара пластов ВК₁–ВК₃. В разрезах ряда скважин также отмечены плотные прослои, формирование которых связано как с седиментационными, так и с наложенными процессами в литогенезе, в том числе с формированием залежи углеводородов.

Ключевые слова: викуловская свита, продуктивный пласт, типы пород, обстановки осадконакопления, вторичные процессы

Для цитирования: Коробова Н.И., Шевчук Н.С., Карнюшина Е.Е., Сауткин Р.С., Краснова Е.А. (2023). Особенности состава и строения продуктивных отложений викуловской свиты Красноленинского свода и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства. *Георесурсы*, 25(2), с. 105–122. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.8>

Введение

В пределах Красноленинского месторождения, расположенного в центральной части одноименного свода Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, широкое распространение получили отложения викуловской свиты, которые являются продуктивными и имеют толщину до 300 м. Свита соответствует одноименному горизонту в стратиграфическом объеме среднего – верхнего апта. Викуловская свита перекрыта морскими глинами нижнехантымансийской подсвиты альбского возраста мощностью до 140 м.

В 1999–2001 гг. в викуловской свите разведочными скважинами вскрыта нефтяная залежь, в которой по промышленной номенклатуре выделены три продуктивных пласта ВК₁, ВК₂, ВК₃. Мощность продуктивной толщи достигает 60 м.

Целью настоящей работы являлась реконструкция обстановок осадконакопления продуктивной викуловской толщи, выделение различных генетических типов отложений с уточнением их минералогического состава, а также установление этапов формирования залежи, связанных с водонефтяными контактами в разрезах. Для этого ставились следующие задачи: 1) послонное описание керна; 2) выделение и описание основных литотипов по

результатам изучения петрографических шлифов и аналитическим данным; 3) построение одномерных моделей (литологических разрезов) в масштабе 1:50; 4) выделение вертикальных рядов литофаций по соотношению основных литотипов; 5) анализ структурно-текстурных особенностей пород с последующим выделением генетических типов отложений; 6) интерпретация обстановок седиментации; 7) построение схем фациальной зональности пластов ВК₁–ВК₃; 8) выявление вторичных процессов и оценка их влияния на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород.

Значимость литологических исследований для петрофизического анализа и корректной интерпретации комплекса ГИС при определении строения викуловской свиты

Детальные литологические исследования керна позволяют определить количественные и качественные критерии для установления литофизических типов, петрофизических зависимостей и выделения пород-коллекторов по комплексу ГИС. Литофизические типы по данным ГИС выделяются достаточно уверенно, основными критериями для их выделения являются структурные и текстурные особенности литотипов, степень однородности пород и процентное соотношение каждого литотипа, а также характеристика по геофизическим методам ПС (каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации), ГК (гамма-каротаж) и НК (нейтронный каротаж).

Именно комплексные исследования дали возможность скорректировать представления о модели коллектора

* Ответственный автор: Надежда Сергеевна Шевчук
e-mail: n.shevchuk@oilmsu.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

викуловской свиты, что в конечном счете изменило представление о геологической модели, методах его разработки и структуре остаточных запасов.

Средняя эффективная толщина викуловской свиты составляет 24,6 м, эффективная нефтенасыщенная толщина – 13,7 м. Коэффициент пористости по нефтенасыщенным коллекторам равен 24%, граничные значения пористости дифференцированы по литотипам: 20,8% для пород преимущественно алевролитового состава, 18% для песчаных разностей (Исакова и др., 2020 г).

Современные представления об условиях формирования викуловской свиты

В исследовании этого комплекса отложений принимали участие многие авторы, в том числе Е.Е. Карнюшина (2003), А.Л. Медведев (2009, 2010), В.П. Алексеев (2011, 2014), Г.Р. Хуснуллина (2014), В.М. Александров (2015), С.Б. Шишлов (2016) и др. Указанные авторы едины во мнении, что формирование верхней части викуловской свиты, а именно продуктивного пласта ВК₁, а также пластов ВК₂ и ВК₃, происходило в мелководно-морской обстановке в условиях штормового и волнового мелководья. Однако присутствие в ряде скважин достаточно мощных песчаных прослоев, которые относятся к продуктивному пласту ВК_{врез} (толща «врез»), трактуется ими по-разному. По современным сейсмическим данным (Медведев, 2010) установлено сложное строение комплекса. Предложено несколько моделей формирования такого типа разрезов.

Свою интерпретацию по Западно-Каменному участку предложил А.Л. Медведев с соавторами (Медведев и др., 2009; Медведев, 2010). Эта модель стала базовой. По мнению авторов этой модели, относительное падение уровня моря сопровождалось выходом на дневную поверхность берегового склона и шельфа, а также размывом морских отложений речными потоками, где врезанные речные долины представляют собой эрозионное несогласие.

Это несогласие, прослеживаемое на значительной части Красноленинского свода, характеризуется выраженным эрозионным рельефом. Речной эрозии подвергались дистальные штормовые отложения пластов ВК₂–ВК₅.

Методика и объект исследования

В ходе литологических исследований был изучен керн 11 скважин (рис. 1). Среди изученных скважин толща «врез» вскрыта 5 скважинами. Отложения продуктивных пластов ВК₂ и ВК₃ установлены в 3 скважинах, в то время как отложения продуктивного пласта ВК₁ представлены во всех изученных скважинах.

Методика изучения керна основана на детальном послойном его описании. Под *слоем* понимается геологическое тело, сложенное относительно однородным материалом, отличающееся от смежных тел по каким-либо признакам и обычно ограниченное плоскостями наложения. Слой прослеживается на достаточно большой площади и имеет толщину значительно меньшую, чем его протяженность. Ассоциации слоев, близкие по составу и структурно-генетическим признакам, объединяются в *пачки*, которые в дальнейшем рассматриваются как *литофации*. Под литофацией понимаются породные геологические тела, обладающие характерными свойствами. Эти геологические тела должны быть обособлены границами разделов, в пределах которых они имеют схожие цвет, состав, текстуру, структуру, деструкции, остатки фауны и флоры, признаки нефтенасыщения и другие свойства пород. Все эти характеристики относятся и к *генетическим признакам* отложений, которые связаны прежде всего с динамикой среды седиментации.

На литологических разрезах скважин, которые построены в масштабе 1:50, показаны состав, строение и характер чередования изученных литотипов, их основные текстурные особенности, а также включения. Помимо этого, на разрезах выделены литофации и обстановки

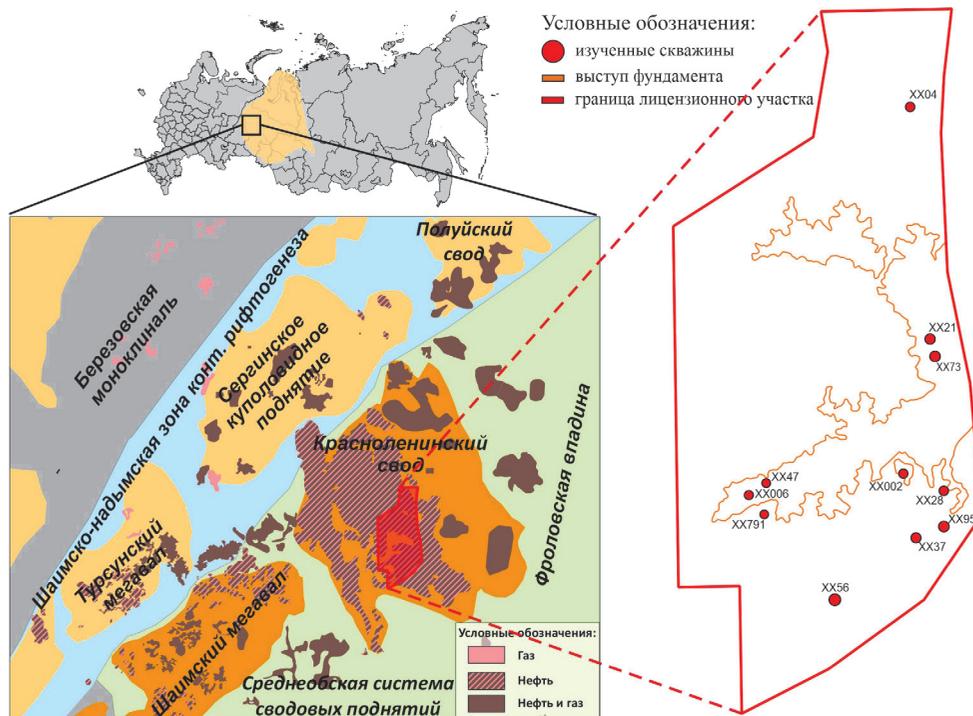


Рис. 1. Схема расположения скважин с литологическим описанием и изучением керна

седиментации, интерпретация которых основывалась на принципе актуализма.

Принцип актуализма применяется для реконструкции обстановок седиментации викуловской свиты путем выбора моделей современной и четвертичной континентальной, переходной и морской седиментации, описанных, например, в работах (Долотов, 1989; Чистяков и др., 2000; Шанцер, 1966), как основы для соответствующих построений изучаемых объектов.

Минеральный состав отложений толщи «врез» и пластов BK_1 – BK_3

При описании основных типов пород уточнен их минералогический состав. Для алевролитово-песчаных пород отмечена постепенная смена состава: от граувакк к граувакковым аркозам, далее собственно к аркозам и олигомиктовым разностям. Подобное «созревание» пород, упрощение их вещественного состава происходит обычно при неоднократных перебивках ранее образовавшихся осадков и переотложениях этого материала, что и ведет к последовательному исчезновению малоустойчивых компонентов и относительному обогащению кварцем (рис. 2). В нижних частях разрезов *толщи «врез»* песчаники обладают наибольшим распространением. Они имеют полимиктовый состав, часто различаются по количеству и примеси растительного детрита, а также по наличию углистых разностей. В свою очередь, полимиктовые разности по соотношению основных породообразующих компонентов разделяются на граувакки и аркозы.

Граувакки описаны в нижних частях толщи в скважинах XX56 и XX791. В скв. XX56 они относятся к классу кварцево-полевошпатовых граувакк. Среди последних преобладают главным образом мелкозернистые разности, но встречаются и среднезернистые. Для граувакков характерна средняя и хорошая сортировка обломочного материала, присутствие полуокатанных, окатанных, реже угловатой формы обломочных зерен. Количество зерен кварца составляет 30–32%, полевых шпатов – до 35%, обломков пород – 28–30%, слюд – 5%. Содержание углистого детрита и растительных остатков в углистых разностях превышает 10% (рис. 3, а–г).

Количество глинистого цемента в песчаниках редко превышает 5–8%, среди глинистых минералов отмечены гидрослюда, хлорит и каолинит с преобладанием. Количество карбонатного цемента (кальцита) переменчиво, обычно составляет 1–2%, но иногда достигает и 20–25%.

В то же время в отложениях толщи «врез» присутствуют и аркозовые песчаники. *Аркозы* описаны во всех изученных разрезах. Представлены подклассом граувакковых аркоз. Повсеместно среди песчаников преобладают мелкозернистые разности, в различной степени алевритистые, иногда углистые, количество растительных остатков и детрита в них составляет 10%, иногда и более. Но общим для всех является преобладание хорошей сортировки и окатанности обломочного материала, незначительное содержание глинистого цемента (5–9%), причем в его составе явно доминирует аутигенный каолинит (рис. 3, д–о).

В составе пород встречаются кварц (40–45%), полевые шпаты (35–40%), обломки пород (15–20%), слюды (3–5%) (рис. 2). Среди аутигенных минералов присутствуют

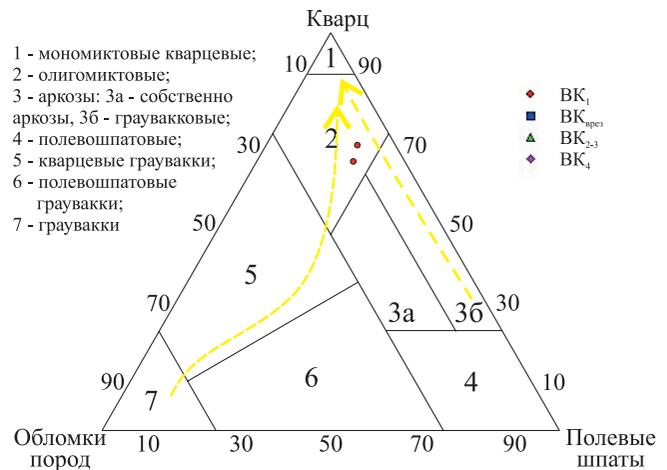


Рис. 2. Классификация песчано-алевролитовых пород по их минерально-петрографическому составу (по (Шванов, 1987)). Стрелками показаны направления «созревания» обломочного материала в зоне седиментогенеза

хлорит (установлен по слюдам и слюдистым компонентам обломков пород), сидерит, каолинит. Вторичные процессы обычно связаны с глинизацией (преимущественно с каолинизацией) полевых шпатов, а также с их выщелачиванием. Реже процессы выщелачивания связаны и с выносом неустойчивых компонентов обломков пород (преимущественно эффузивов). Вторичные процессы ведут к формированию вновь образованной (вторичной) внутризерновой пористости в песчаниках и тесно связаны с формированием аутигенного каолинитового цемента в породах, который обычно развит неравномерно, а иногда образует более крупные пакеты (сростки).

В строении пластов BK_1 – BK_3 участвуют следующие типы пород: 1 – песчаники; 2 – алевролитово-песчаные и песчано-алевролитовые породы и ритмиты; 3 – алевролиты мелкозернистые; 4 – ритмиты алевролитово-глинистого и глинисто-алевролитового состава. Все породы этой группы пластов имеют полимиктовый состав и относятся к классу аркоз, редко встречаются олигомиктовые разности. Обращает на себя внимание резкое изменение состава пород: от полимиктового до олигомиктового, что, вероятно, связано с различными условиями их формирования.

Количество пленочно-порового, существенно глинистого цемента составляет 5–10%, а карбонатный (кальцит, сидерит) редко превышает первые проценты. Седиментационный глинистый цемент (хлорит-гидрослюдистый) обычно составляет первые проценты от количества всех глинистых минералов, кроме того, преобладает аутигенный каолинит, обычно формирующийся за счет разрушения нестойких компонентов (полевых шпатов, некоторых обломков пород). Отметим повышенное содержание растительного детрита в алевролитовых породах. Растительный детрит часто имеет структурные параметры, аналогичные медианному диаметру зерен в породах и может рассматриваться как один из породообразующих компонентов вместе со слюдами. Собственно присутствие повышенного содержания растительного детрита придает иногда алевролитам более темные окраски, что обычно интерпретируется как «глинистость».

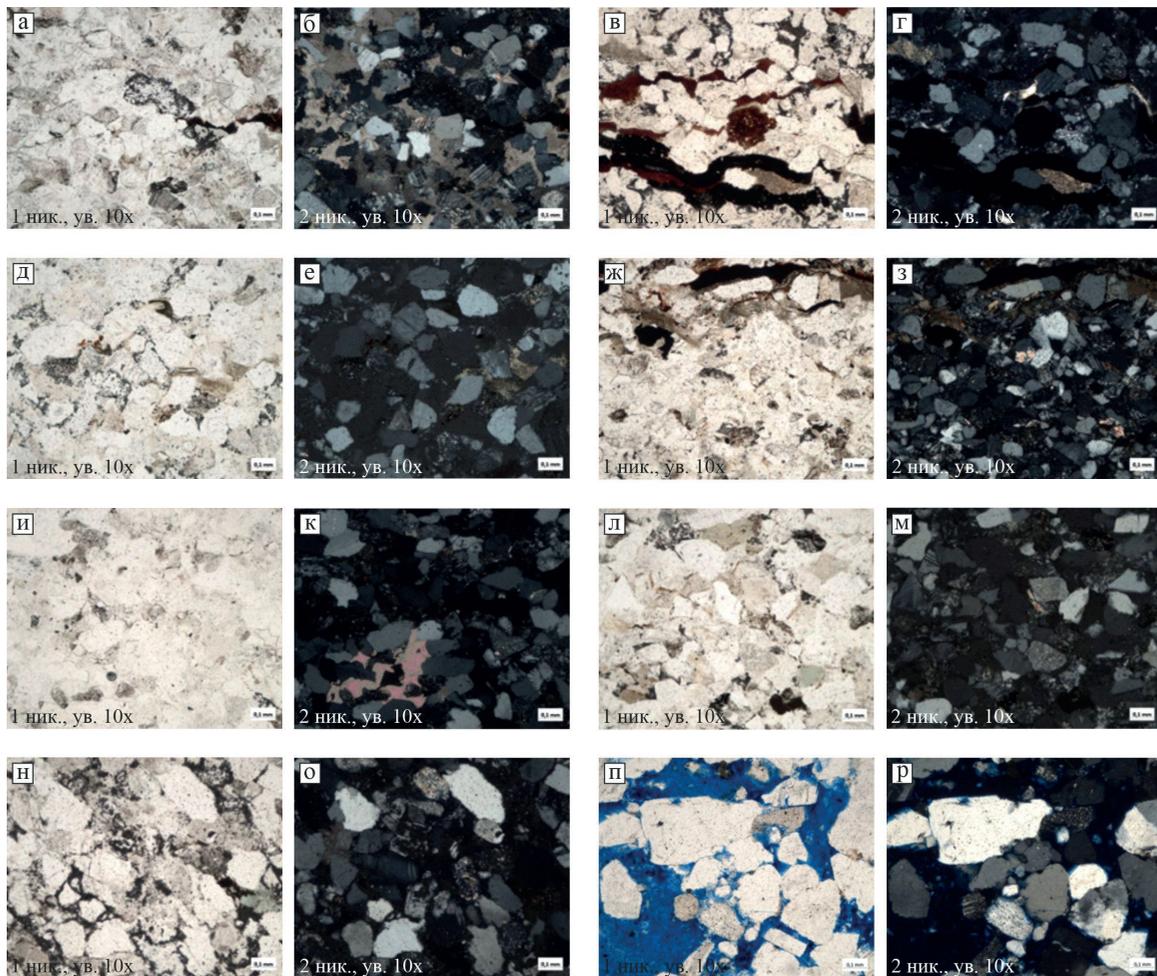


Рис. 3. Типы пород: а, б – песчаник мелкозернистый, алевроитовый, полимиктовый (кварцево-полевошпатово-граувакковый) с глинисто-карбонатным цементом, скв. ХХ56, глубина 1518,45 м; в, г – песчаник мелкозернистый, углистый, полимиктовый (кварцево-полевошпатово-граувакковый) с глинистым цементом, пористый, скв. ХХ56, глубина 1511,2 м; д, е – песчаник мелкозернистый, полимиктовый (граувакковый аркозовый) с глинистым цементом, пористый, скв. ХХ56, глубина 1501,75 м; ж, з – песчаник мелкозернистый, полимиктовый (граувакковый аркозовый) с глинистым цементом, пористый, скв. ХХ56, глубина 1504,43 м; и, к – песчаник мелкозернистый, полимиктовый (граувакковый аркозовый) с карбонатно-глинистым цементом, пористый, скв. ХХ791, глубина 1520,95 м; л, м – песчаник мелкозернистый, полимиктовый (граувакковый аркозовый) с поровым глинистым цементом, пористый, скв. ХХ006, глубина 1505,25 м; н, о – песчаник мелкозернистый, граувакковый аркозовый с незначительным содержанием глинистого цемента, пористый, скв. ХХ47, глубина 1571,7 м; п, р – песчаник крупно-среднезернистый олигомиктовый, скв. ХХ28, глубина 1490,93 м

Олигомиктовые обломочные породы встречены в разрезах ряда скважин. Представлены крупно-среднезернистыми песчаниками, для которых характерны средняя и хорошая сортировка, а также окатанность обломочного материала, незначительное содержание седиментационного глинистого цемента, который обычно имеет линзовидный характер распространения. Аутигенный цемент (до 2%) представлен каолинитом, который иногда образует сростки размером 0,01–0,03 м. Более тонкий обломочный материал алевро-псаммитовой размерности обычно расположен в межзерновом пространстве песчаников, распределен неравномерно, выполняет роль заполнителя. В составе песчаников количество зерен кварца достигает 70–75%. Зерна обычно обладают волнистым погасанием, но заметную роль играют разности блочнопогасающего кварца метаморфического происхождения. Среди полевых шпатов (15–20%) преобладают калишпаты, которые обычно пелитизированы. Среди обломков пород отмечается преобладание обломков метаморфических пород, которые часто хорошо окатаны или полуокатаны. Обломки

эффузивов часто очень хорошо окатаны, встречаются в подчиненном количестве. Единично наблюдаются хорошо окатанные литокласты глинистых пород. Эти песчаники содержат многочисленные межзерновые поры, диаметр которых нередко равен диаметру преобладающих обломочных зерен (рис. 3, п, р).

Обстановки седиментации

В аптский век на территории Западно-Сибирской палеоравнины располагался обширный полуизолированный мелководно-морской бассейн, который узкими проливами в позднеаптское время соединялся с северными борреальными морями (Конторович и др. 2014).

Отложения пластов группы ВК₁–ВК₃ накапливались преимущественно в пределах верхней и нижней частей подводного берегового склона бассейна. Смена обстановок седиментации, отраженная в структурно-текстурных особенностях отложений, связана с изменениями относительного уровня моря. С наиболее низким уровнем моря связаны образования пляжа. Чередование и сочетание

обстановок с разнообразием морфологических аккумулятивных форм алевритово-песчаного материала и обстановок распространения глинисто-алевритовых и алевритово-глинистых отложений с включениями и линзами песчаного состава обусловили формирование природного резервуара пластов $ВК_1$ – $ВК_3$.

Нарушение выдержанного характера залегания этих отложений на Каменной площади отчетливо фиксируется по данным сейсморазведки и идентифицируется как комплекс заполнения врезанных речных долин. Эти долины, по мнению ряда авторов, образовались в результате падения относительного уровня моря (Медведев и др., 2006). Общая протяженность таких долин на Каменной площади составляет более 80 км, ширина от 2 до 10 км, глубина до 90 м, а комплекс заполнения врезанных долин, как правило, характеризуется повышенной песчаностью (Медведев и др., 2006, 2009; Медведев, 2010).

Для врезанной долины выявлена общая трансгрессивная последовательность отложений (рис. 4). На начальном этапе формирования речные отложения занимают базальную часть эстуария (Boyd et al., 2006). В базальной части заполнения эстуариев могут также быть распространены отложения дельты залива, которые иногда трудно отличить от речных (Aschoff et al., 2018). Аллювиальные отложения перекрываются отложениями центральных частей эстуария, а именно залива, и далее отложениями прибрежной равнины, временами заливаемой морем.

Обычно эстуарий занимает обращенную к морю часть затопленной врезанной долины и содержит отложения, сформированные под влиянием приливных, волновых и речных процессов. Головная часть эстуария

ограничивается распространением действия приливных процессов на суше, а его устьевая часть фиксируется зоной распространения прибрежных отложений (Dalrymple et al., 1992).

На Каменной площади комплекс отложений врезанных долин (толща «врез») вскрыт в южной, юго-западной и северо-восточной частях, выделены следующие обстановки осадконакопления: аллювиальные, эстуариевые (дельтовые, приливно-отливные) и прибрежно-морские, которые соответствуют определенным стадиям развития врезанной долины.

Аллювиальный комплекс отложений

Аллювиальные отложения описаны в скважинах ХХ56, ХХ47 и ХХ04. В скв. ХХ56 аллювиальные отложения имеют мощность 12,7 м (рис. 5). В строении разреза участвуют две литофации: *субугленно-грубообломочно-алевро-песчаная (7,16 м)* и *субугленно-грубообломочно-песчаная (5,54 м)*.

Субугленно-грубообломочно-алевритово-песчаная литофация (7,16 м) состоит из двух частей. Ее нижняя часть (4,28 м) сложена песчаными накоплениями русел и прирусловых валов, где слоистость обычно подчеркнута тонкими пропластками насыщенными черным углефицированным растительным детритом (УРД). Отложения русел представлены косослоистыми средне- и мелкозернистыми песчаниками, которые нередко насыщены интракластами уплощенных углистых алевролитов диаметром от 0,2 до 0,5 см, длиной до 5 см (рис. 6, а). В то время как отложения прирусловых валов обычно сложены горизонтально-слоистыми песчаниками мелкозернистыми, часто алевритовыми и углистыми, а также песчаными ритмитами (рис. 6, б).

Накопления грубообломочных отложений обычно приурочены к склоновым частям русел и могут быть связаны с обрушениями берегов этих русел. Грубообломочные породы часто залегают по неровным эрозионным границам, сложены косослоистыми интракластовыми брекчиями, реже дресвяно-гравийными породами, которые иногда в кровле размыты (рис. 6, в, г). Среди интракластов обнаружены обломки песчано-алевролитовых пород и ритмитов, алевролитов и алевролитовых ритмитов. Диаметр обломков варьирует от 1 до 9–10 см. Отмечается неравномерное распределение (от 5% до 40–50%) песчаного заполнителя.

В верхней части (2,88 м) литофации преобладают песчано-алевролитовые ритмиты, имеющие тонкую горизонтальную и горизонтально-линзовидную текстуру, нередко нарушенную взмучиванием, переотложением и микротектоническими процессами сбросового характера, которые связаны с первичным уплотнением осадка (рис. 6, д). Накопление данного комплекса отложений, вероятно, происходило в пределах затопляемых частей пойм.

Субугленно-грубообломочно-песчаная литофация (толщиной 5,54 м) состоит из трех циклитов, имеющих схожее строение. В основании каждого цикла залегают косослоистые интракластовые брекчии и интракластовые дресвяно-гравийные породы склонов аллювиальных русел. Заполнитель песчаный, гравийно-песчаный. Среди интракластов преобладают обломки алевролитов, в том числе углистых.

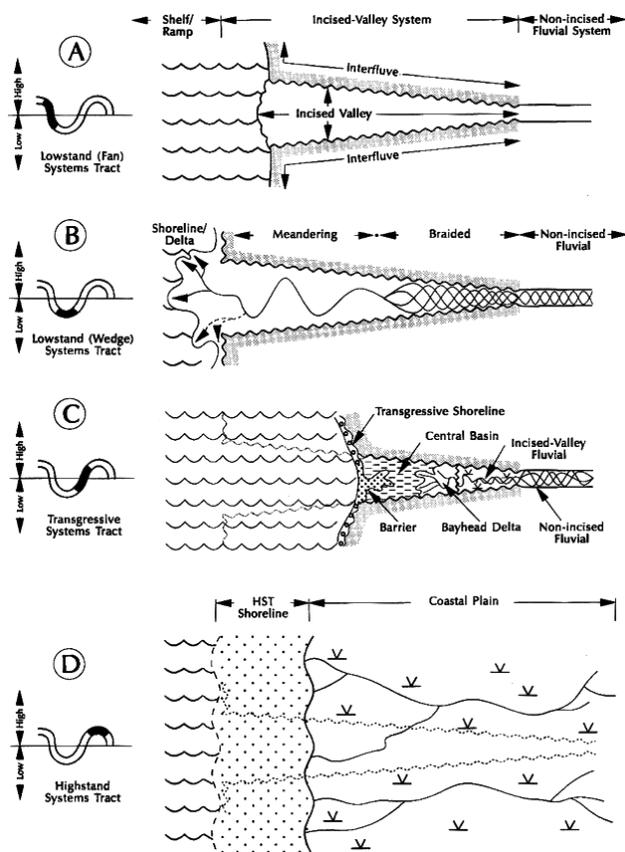


Рис. 4. Этапы формирования прибрежно-равнинной врезанной долины (Dalrymple et al., 1994)

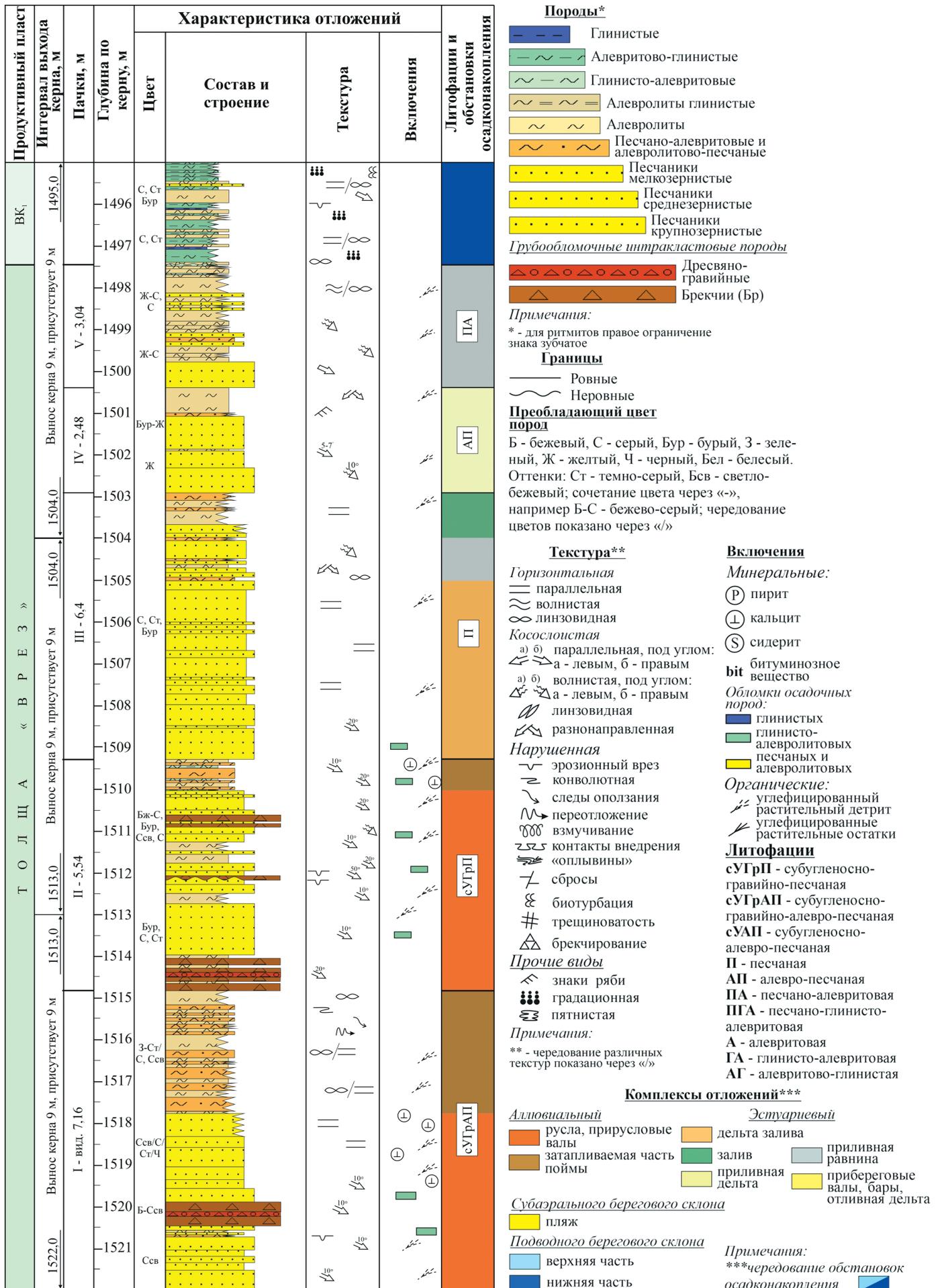


Рис. 5. Литолого-фациальный разрез толщи «врез» скв. XX56. Условные обозначения к рис. 5, 7, 9, 11

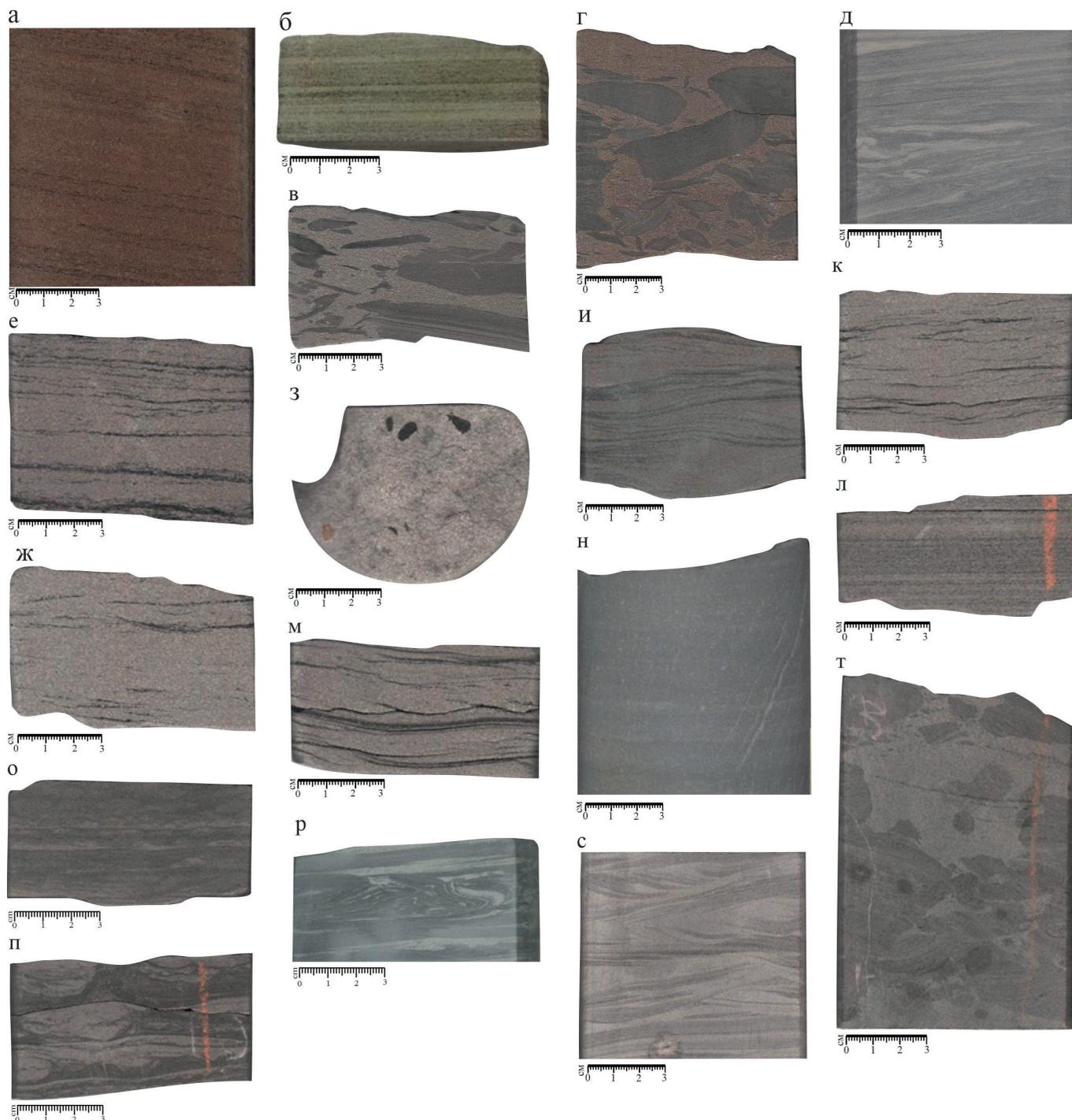


Рис. 6. Генетические типы пород: а – косослоистые песчаники русел, скв. ХХ56, глубина 1513,2 м; б – песчаные ритмы прирусловых валов, скв. ХХ56, глубина 1518 м; в, г – интракластовые грубообломочные породы склонов речных долин, скв. ХХ56, глубина 1520,0 и 1514,1 м; д – песчано-алевроитовые ритмы затопляемых частей пойм, скв. ХХ56, глубина 1516,35 м; е, ж – отложения прирусловых валов, скв. ХХ47: е – песчаник мелкозернистый углистый с волнистой слоистостью (глубина 1571,34); ж – песчаник среднезернистый с волнистой прерывистой косо волнистой текстурой (1570,95 м); з – отпечатки углефицированного растительного детрита, скв. ХХ47, глубина 1570,75 м; и – алевролитово-песчаная порода с косо волнистой текстурой и текстурой срезания волнистых серий, скв. ХХ56, глубина 1504,02 м; к, л – скв. ХХ47: к – песчаник среднезернистый волнистослоистый (глубина 1569,15 м); л – ритм алевролитово-песчаный (глубина 1562,81 м); м – песчаник мелкозернистый с волнистой текстурой, скв. ХХ47, глубина 1568,75 м; н – однородные алевролиты залива эстуария, скв. ХХ006, глубина 1512,6 м; о – ритм алевролитовый, скв. ХХ47, глубина 1560,78 м; п – ритм алевролитовый, скв. ХХ47, глубина 1557,87 м; р – S-образная оплывина, скв. ХХ47, глубина 1540,38 м; с, т – скв. ХХ47: с – алевроитово-песчаные отложения береговых валов (глубина 1555,23 м); т – отложения промоин сгонно-нагонных течений (глубина 1554,6 м)

Грубообломочные породы обычно перекрываются русловыми косослоистыми песчаниками, содержащими интракласты глинистых и алевролитовых пород, а выше также косослоистыми алевролитами прирусловых валов.

Границы между отдельными слоями часто неровные, эрозийные (рис. 5).

В скв. ХХ47 (рис. 7) аллювиальный комплекс отложений представлен субугленосно-алевро-песчаной литофацией (мощностью 3,15 м), которая сложена косослоистыми

и реже волнисто-слоистыми средне- и мелкозернистыми песчаниками (рис. 6, е, ж) с обильным УРД на плоскостях напластования (рис. 6, з), которые неравномерно расчленены углистыми алевролитово-песчаными породами и ритмитами.

Этот комплекс отложений был также описан в нижней части толщи «врез» скв. ХХ04, который выделяется в объеме *алевролитово-песчаной литофазии* (мощностью 3,13 м).

Ее нижняя часть (1,41 м) сложена русловыми косослоистыми бежево-серыми песчаниками средне-мелкозернистыми, которые насыщены интракластами глинисто-алевролитовых ритмитов, а также содержат единичные гравийные зерна кварца. Размер интракластов снизу вверх увеличивается от $(0,5-0,6) \times 0,2$ см до $0,8 \times (0,5-1)$ см. Интракласты ориентированы под углом 25° к горизонту. Верхняя часть литофазии (вскрытая мощность 1,4 м) сформирована песчано-алевролитовыми породами и ритмитами зарастающих прирусловых валов, для которых характерны линзовидная, косолинзовидная и нарушенная корневыми системами текстура (рис. 8, а, б).

Комплекс отложений эстуария

Субаэральная и субаквальная дельты залива. Отложения дельты залива описаны в разрезе верхней части толщи «врез» в разрезе скв. ХХ56 (рис. 5). Они обладают признаками смешанного речного, волнового и приливно-отливного осадконакопления и выделяются в составе *песчаной литофазии*.

Отложения этой литофазии (6,4 м), сформированные фронтом дельты, имеют генетические признаки накоплений флювиальных русел, валов, баров, а в верхней части – залива, в пределы которого и разгрузалась дельта. Ее нижняя часть (4,3 м) представлена песчаными накоплениями, для которых характерны пологая косяя и горизонтальная текстура, которая нередко подчеркнута обилием УРД на плоскостях напластования, а верхняя (1 м) – чередованием песчаников мелкозернистых, песчано-алевролитовых ритмитов, а также алевролитов, для которых свойственна тонкая пологая косяя и косоволнистая слоистость, сформированная волновой рябью (рис. 6, и). В кровле (1,1 м) залегают тонкослоистые алевролитовые ритмиты с многочисленными включениями мелкого УРД, сформировавшиеся, вероятно, в пределах залива.

Песчаная литофазия (2,75 м) описана и в разрезе скв. ХХ47 (рис. 7), где представлена косослоистым и волнисто-слоистым чередованием средне-мелкозернистых песчаников и маломощных углистых алевролитово-песчаных ритмитов (рис. 6, к, л). Песчаники нередко содержат пропластки толщиной (1–3 мм), сложенные глинистым веществом. Эти пропластки образуют в различной степени выдержанные волнистые серии через 1–1,5 см.

Внутри этих серий иногда наблюдаются текстуры мелкой асимметричной ряби течений, которая формирует валики амплитудой до 3 мм (рис. 6, м). Алевролитово-песчаные и песчано-алевролитовые ритмиты обладают повышенной слюдистостью и углистостью (рис. 8, в, г). В основании отдельных прослоев встречаются единичные неокатанные интракласты алевролитов темно-серых размером 2×3 см.

К дистальным частям фронта дельты можно отнести накопления алевро-песчаной (2,69 м) и песчано-алевролитовой

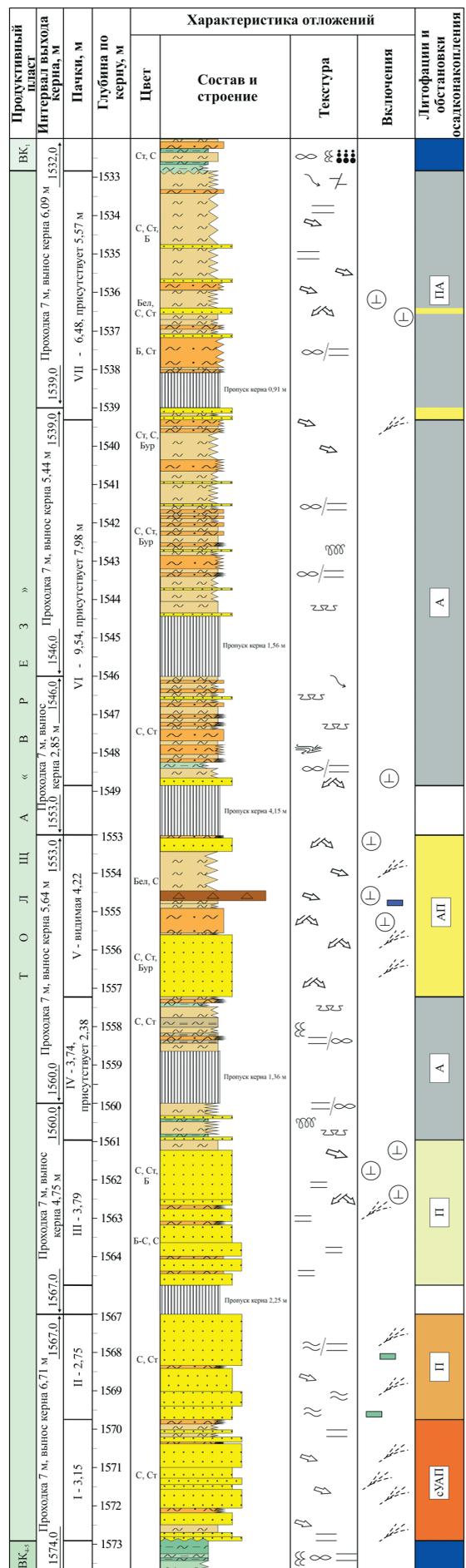


Рис. 7. Литолого-фациальный разрез толщи «врез» скв. ХХ47. Условные обозначения см. на рис. 5

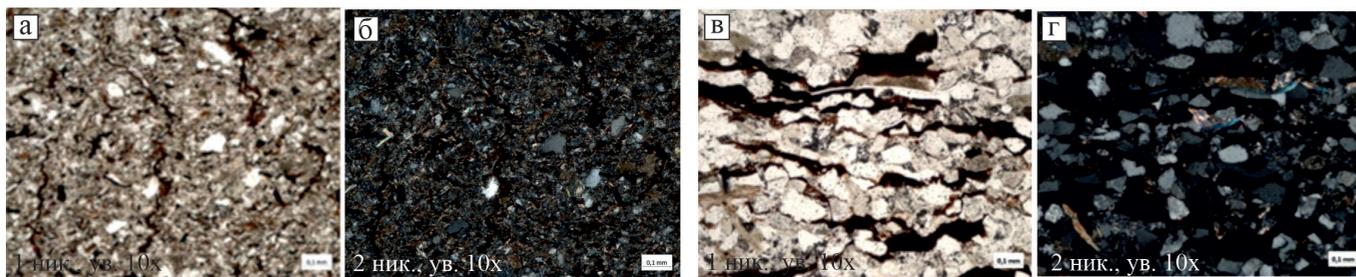


Рис. 8. Фото петрографических шифов: а, б – алевролит глинистый с нарушенной корневыми системами текстурой, скв. ХХ04, глубина 1508,6 м; в, г – ритмичт песчано-алевролитовый, углисто-слюдистый, полимиктовый (граувакковый аркозовый), скв. ХХ47, глубина 1562, 8 м

(6,3 м) литофаций, описанных в нижней части разреза скв. ХХ006, для которых характерно появление тонких (0,1–0,15 м) песчаных прослоев с косослоистой текстурой (рис. 9).

Преобладающими генетическими типами отложений являются аккумулятивные формы рельефа, такие как валы и гряды.

Приливные дельты. Комплекс отложений приливной дельты также формировался в пределах залива. В разрезах рассматриваемых скважин этот комплекс обусловлен накоплением песчаных и алевро-песчаных литофаций. Постепенная проградация приливной дельты в сторону суши приводит к заполнению эстуария осадочным материалом и к формированию в последующем обширной приливной равнины (рис. 4), охватывающей всю территорию эстуария.

Так, в разрезе скв. ХХ47 накопления приливной дельты связаны с *песчаной литофацией* (мощность 3,79 м), которая сложена пологокосо-слоистыми мелкозернистыми песчаниками (рис. 7). Здесь также наблюдается сложная разнонаправленная косослоистая текстура, вероятно, сформированная в результате приливных процессов.

В скв. ХХ006 (рис. 9) нижняя часть (4,0 м) *алевро-песчаной литофации* (6,65 м), а также нижняя часть (3,35 м) *песчаной* (4,45 м) сложены песчаными наносами приливной дельты. В песчаниках преобладает разнонаправленная косоволнистая слоистость с элементами волновой ряби.

Залив эстуария. Отложения залива наиболее часто встречаются в разрезе скв. ХХ006. Они представлены однородными алевролитами горизонтально-линзовидными, а также ритмитами алевролитового и глинисто-алевролитового состава. Отличительной чертой этих отложений является первичная карбонатность (рис. 6, н).

Приливо-отливная равнина. *Алевролитовая литофация* (3,74 м) в скв. ХХ47 тесно связана с приливо-отливными процессами, развивающимися в пределах прибрежной равнины. Эта часть разреза сложена алевролитовыми ритмитами, для которых характерны горизонтально-линзовидные текстуры с многочисленными текстурами нагрузки в основании. Такие перемещения осадка происходили в сжиженно-пластичном состоянии и в одноактном режиме привноса материала, иногда не затрагивающем матрикс (рис. 6, о) (Алексеев, 2014). Обычно такие «инъекционные» внедрения более грубого материала формируют мелкие промоины (рис. 6, п). Алевролиты периодически расслаиваются песчаными накоплениями приливных отмелей и гряд.

Характерным признаком приливной равнины являются формирующиеся в пределах ритмично чередующихся пород алевролитово-песчаные оплывины, которые связаны с оползанием материала, находящегося в пластичном состоянии, с S-образными изгибами и закручиваниями в колобки (рис. 6, р) (Алексеев, 2014).

В скв. ХХ56 (рис. 5) комплекс отложений приливной равнины представлен *песчано-алевролитовой литофацией* (3,04 м), которая в основании сложена косослоистыми песчаниками, а выше состоит из переслаивания алевролитов, алевролитовых ритмитов и мелкозернистых песчаников, волнисто- и косоволнисто-слоистых, обладающих иногда разнонаправленной косою слоистостью. Такие песчаные тела формируют в пределах равнины мелкие аккумулятивные формы – валы и гряды.

Береговые валы, бары, отливная дельта. В этой части эстуария формируется сложный комплекс отложений береговых валов, баров, дон, приливо-отливных каналов и промоин, с которыми связаны различные генетические типы пород. Этот комплекс описан в скв. ХХ47, где выделяется в пределах *алевро-песчаной литофации* (4,22 м). В ее основании (1,51 м) располагаются косослоистые углистые мелкозернистые песчаники, которые выше (2,7 м) перекрываются алевролитово-песчаными накоплениями береговых валов (рис. 6, с), содержащих промоины (рис. 6, т), сформированные сгонно-нагонными течениями.

Комплекс прибрежных и мелководно-морских отложений

Современные представления об условиях формирования викуловской свиты и практический опыт изучения керна ее продуктивной толщи позволяет нам рассматривать процессы образования этих отложений в рамках модели прибрежной области водного бассейна (Долотов, 1989; Каплин и др., 1991; Крашенинников, 1971; Обстановки..., 1990).

Прибрежная область состоит из двух взаимосвязанных элементов: берега и подводного берегового склона (ПБС), граница между которыми обозначается урезом воды. Берег – это полоса земной поверхности, прилегающая к береговой линии со стороны суши, то заливаемая водой бассейна под воздействием прибойного потока, приливов и нагонов, то осушаемая при отливах и сгонах. Береговой склон – это верхняя часть шельфа. При характеристике строения прибрежной области нами использованы следующие термины, характеризующие обстановки осадконакопления в направлении суша – море: субазральный береговой склон и подводный береговой склон (рис. 10).

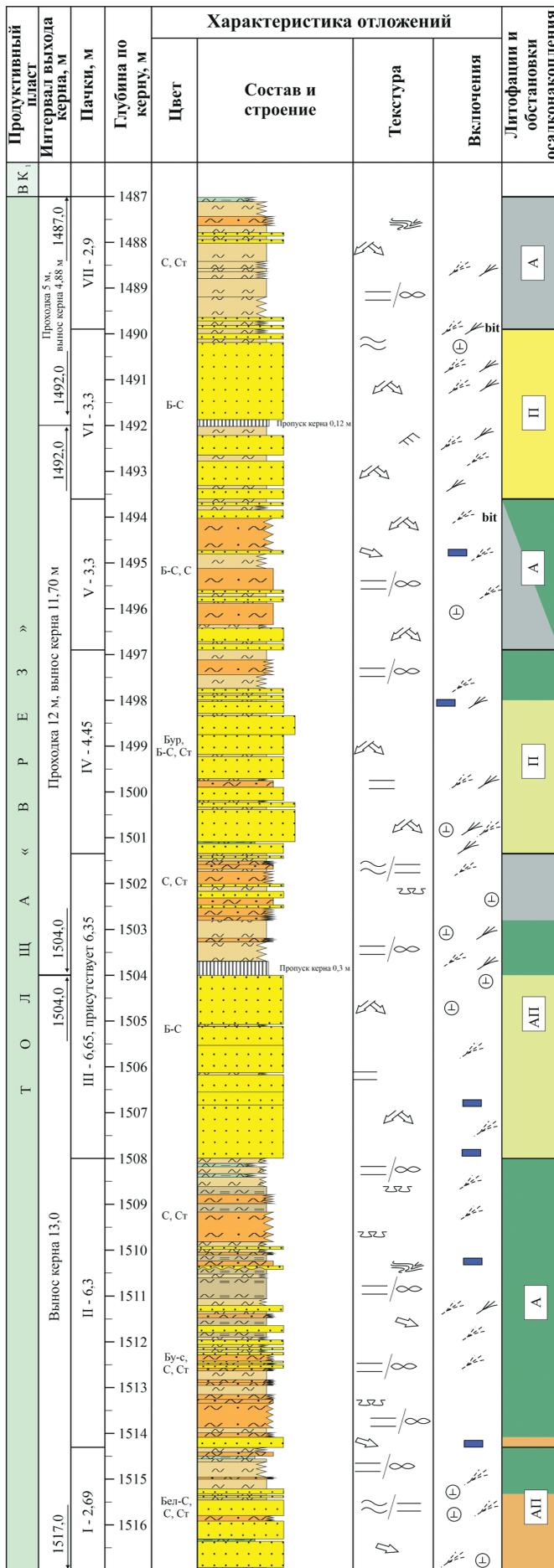


Рис. 9. Литолого-фациальный разрез скв. XX006. Условные обозначения см. на рис. 5

В условиях высокой гидродинамической активности среды осадконакопления мелководного внутреннего морского бассейна при широком распространении штормов и большой амплитуде волн наблюдаются контрастные изменения с достаточно частым чередованием обстановок осадконакопления.

Субаэральная часть берегового склона. Верхний (субаэральный) пляж. Отложения **верхнего пляжа (субаэрального)** в разрезах пластов $VK_1 - VK_3$ распространены локально и имеют наибольшее распространение в разрезе скв. XX28 (рис. 11). Их появление приурочено к отложениям алевритово-песчаных и песчано-алевритовых литофаций. Присутствующие крупно- и среднезернистые песчаники с перекрестной разнонаправленной косой слоистостью имеют толщину от 0,1 до 1 м.

Небольшая мощность этих накоплений, видимо, связана с широким развитием штормовых процессов, которые приводили к их интенсивной эрозии. Отложения нижнего пляжа постепенно переходят в фациальную зону берегового склона и даже могут их перекрывать (рис. 12, а). При этом песчаные накопления пляжа резко отличаются по составу от алевролитово-песчаных осадков подводной части берегового склона, и, в отличие от последних, здесь преобладают олигомиктовые разности (рис. 13, а, б). Среди генетических типов встречаются отложения береговых валов, дюн, реже межрядовых понижений.

Подводный береговой склон. Верхняя часть подводного берегового склона включает нижнюю (затопляемую) часть пляжа и его предфронтальную (предпляжевую) зону, граница между которыми проводится не всегда однозначно. Эти зоны рассматриваются совместно и в разрезах скважин выделяются как верхняя часть подводного берегового склона.

На этом участке преобладают процессы прибой, обрушения, взмучивания, часто дополняемые течениями и штормами. Широко распространены симметричные и ассиметричные волновые знаки ряби в песчано-алевролитовых и алевролитовых накоплениях, а также перекрестная косая слоистость. Среди основных аккумулятивных подводных форм преобладают подводные валы, в меньшей степени рифели (песчаные волны) (рис. 12, б).

Весь этот комплекс отложений формирует группы литофаций: песчано-алевритовую, глинисто-песчано-алевритовую и алевритово-песчаную (рис 11). В предпляжевой зоне алевролитовые и смешанные алевролитово-песчаные и песчано-алевролитовые накопления в условиях чередования спокойных и штормовых условий характеризуются распространением нарушенных текстур (битурбированием, взмучиванием), обычно насыщены интракластами алевролитов, песчаников, прослои которых образуют грубообломочные интракластовые интервалы, которые иногда выполняют эрозионные врезки проток, распространенных локально (рис. 12, в).

Более детальное строение штормогенных отложений можно рассмотреть на примере разреза верхней части викуловской свиты скв. XX791. В нижней части интервала 1483,95–1485,0 (1,05 м) описаны песчаные отложения, содержащие линзы (размером 0,19 м), включающие интракласты песчаников и алевролитов, которые выше по разрезу перекрыты алевролитово-глинистыми породами с текстурой знаков волновой ряби (0,11 м). Перекрывающие

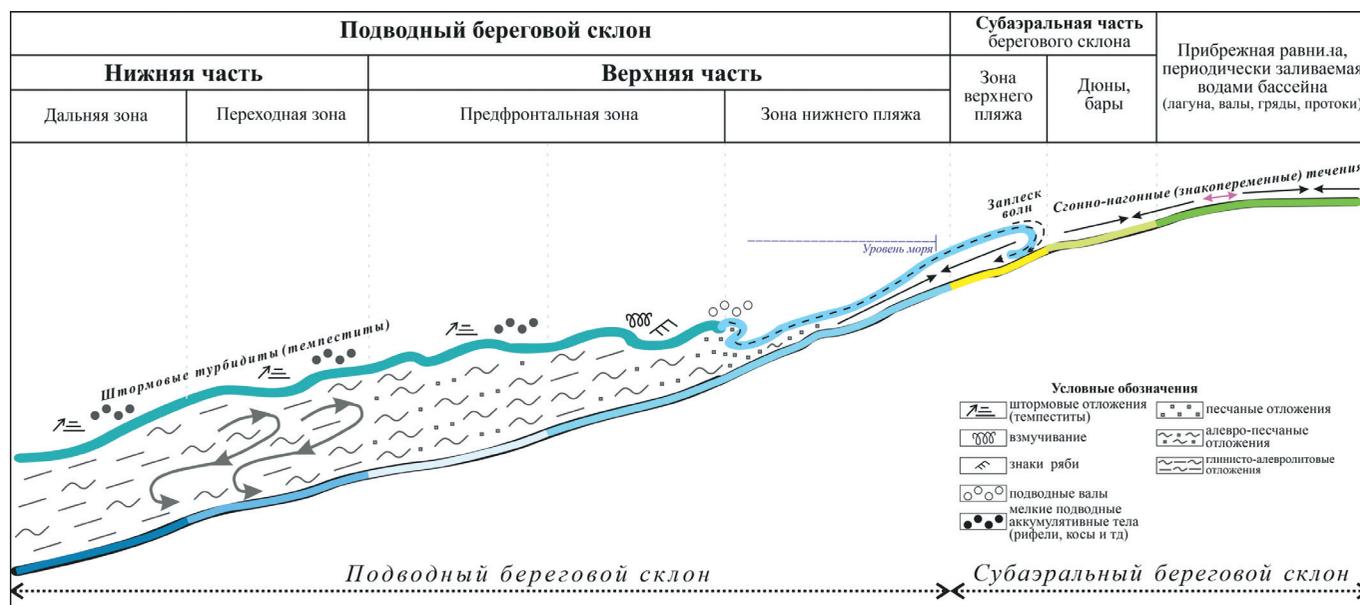


Рис. 10. Идеализированный профиль субаэриальной и подводной частей берегового склона

их мелкозернистые песчаники включают линзы, заполненные интра-, реже литокластами алевролитов дресвяно-гравийной структуры (0,46 м). Эти накопления выше (0,18 м) перекрыты алевролитово-глинистыми ритмитами с включениями дресвяно-гравийных интракластов песчаного состава с нарушенной взмучиванием текстурой и следами эрозии в кровле. Такое строение разреза связано с эпизодами усиления и затухания штормогенных процессов в пределах верхней части подводного берегового склона.

Нижняя часть подводного берегового склона включает переходную и дальнюю зоны, граница между которыми проводится не всегда однозначно. Эти зоны рассматриваются совместно и в разрезах скважин выделяются как нижняя часть подводного берегового склона.

Переходная зона располагается между средним базисом спокойных вод и средним базисом штормовых вод. Это определяет накопления в ее пределах осадков соответственно высокой и низкой энергии волн. В пределах переходной зоны в спокойных условиях из взвеси выпадает тонкозернистый материал, который подвержен интенсивной биотурбации, а во время штормов в пределы этой зоны выносятся более грубый материал, в том числе и псаммитовой размерности. Эти отложения формируют темпеститы – штормовые осадки (рис. 13, в) (Жемчугова, 2014).

Преобладающими литотипами, которые встречаются в пределах этой части подводного берегового склона, являются алевролиты крупно-мелкозернистые, алевролиты мелкозернистые, часто слюдисто-углистые, а также смешанные породы глинисто-алевролитового состава, которые также обычно насыщены тонким растительным детритом. Среди текстур преобладают линзовидная, горизонтально-линзовидная, градационная, которые часто нарушены биотурбированием и взмучиванием. Перечисленными особенностями обладают отложения, которые имеют собственное название «рябчик» (рис. 12, г, рис. 13, г) (Алексеев, 2014).

Описанный комплекс пород формирует глинисто-алевролитовую и алевролитово-глинистую, песчано-глинисто-алевролитовую литофации (рис 10). Нередко здесь встречаются линзы и прослои изогнутой формы, которые

сложены алевритовым, иногда псаммо-алевритовым материалом и формируют мелкие подводные формы рельефа (рифели) (рис. 12, д).

Дальняя зона нижней части подводного берегового склона сложена алевролитовыми и алевролитово-глинистыми осадками, где влияние штормов было неравномерно. Среди текстур преобладают горизонтальная, тонкая, линзовидная (толщина до 1 см), градационная с постепенными сменами гранулометрических типов пород. Обращает на себя внимание и крайне слабая биотурбированность отложений с преобладанием единичных горизонтальных ходов илоедов (рис. 12, е). Преобладающая литофация – алевритово-глинистая.

В пределах этой фациальной зоны встречаются пачки, сложенные отложениями карбонатно-алевролитового алевролитового состава, которые иногда образуют чередования (скв. XX73). Особенностью таких отложений являются отсутствие выраженной слоистости, преобладание нарушенных текстур (переотложение, смятие, элементы конволютной слоистости), многочисленные интракласты и оползневые фрагменты алевролитов и алевролитовых ритмитов внутри иногда гомогенной алевролитовой или карбонатно-алевролитовой массы. Алевролиты мелкозернистые глинистые обладают плохой сортировкой обломочного материала. Количество глинистого и карбонатного цемента в их составе иногда достигает 50% и более, что отмечается появлением смешанных пород карбонатно-алевролитового состава. Формирование этого комплекса отложений, вероятно, связано с дистальными частями подводного берегового склона в условиях, когда действовали течения, в том числе гравитационные (рис. 12, ж, рис. 13, д, е).

Все выделенные фациальные зоны берегового склона описаны во всех скважинах Каменного месторождения, которые вскрыли пласты групп ВК₁–ВК₃.

Распределение фациальных зон по площади Каменного месторождения группы пластов ВК₁–ВК₃

В результате проведенного литолого-фациального анализа были выделены следующие фациальные зоны:

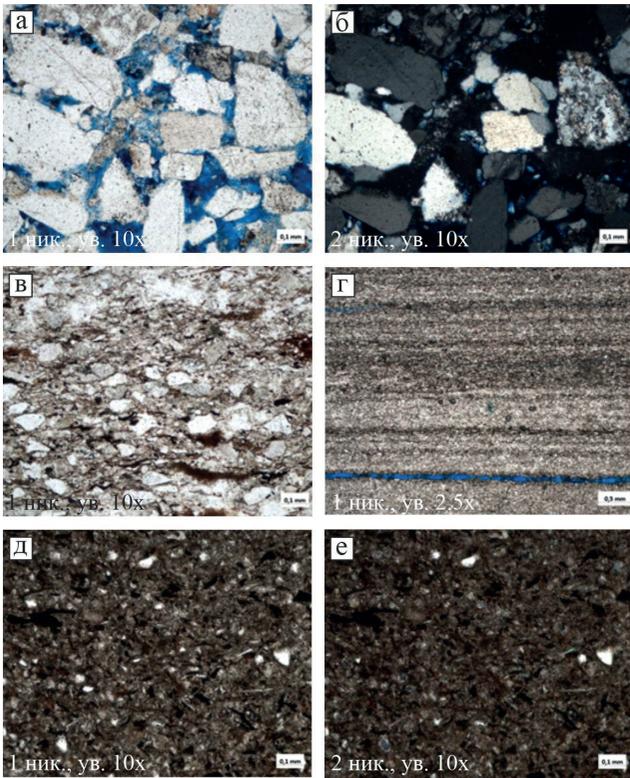


Рис. 13. Фото петрографических шлифов: а, б – песчаник крупно-среднезернистый олигомиктовый с незначительным и неравномерным содержанием глинистого цемента, скв. ХХ28, глубина 1490,93 м; в – примесь псаммитового материала в алевролите, скв. ХХ73, глубина 1509,23 м; г – ритм алевролитово-глинистый, скв. ХХ73, глубина 1510,28 м; д, е – карбонатно-алевролитовая порода, скв. ХХ73, глубина 1525,74 м

на востоке и севере территории исследования и, предположительно, в его южной части. Зона пляжа обрамлена зоной верхней части подводного берегового склона, к ней приурочены подводные аккумулятивные тела (валы, косы и т.д.). В центре и на северо-западе распространена зона нижней части подводного берегового склона.

Последний этап связан с накоплением пласта BK_1^1 , формирование которого приурочено в целом к повышению относительного уровня моря (рис. 14, в). При этом значительную часть территории занимали отложения нижней части подводного берегового склона.

Следующий этап существенного изменения относительного уровня моря связан с этапом завершения формирования пласта BK_1^1 , поверхность максимального затопления территории приурочена к накоплению глинистых отложений вышележащей ханты-мансийской свиты.

Вторичные преобразования в породах-коллекторах викуловской свиты

На формирование ФЕС пород-коллекторов викуловской свиты оказали влияние как седиментологические факторы, так и вторичные процессы литогенеза. К последним относятся пелитизация, деструкция и выщелачивание полевых шпатов; каолинитизация полевых шпатов, а также формирование аутигенного хорошо окристаллизованного каолинита; гидратация, хлоритизация и сидеритизация биотита; формирование аутигенных карбонатных минералов в пустотном пространстве пород; регенерация зерен кварца. Из всех перечисленных процессов наибольшее влияние на ФЕС полимиктовых пород-коллекторов имеют процессы деструкции и выщелачивания зерен



Рис. 14. Схемы фациальной зональности: а – максимальной регрессивной части цикла седиментации и накопления продуктивных пластов BK_2-BK_3 ; б – максимальной регрессивной части цикла седиментации и накопления продуктивных пластов BK_1^3 и BK_1^2 ; в – максимальной регрессивной части цикла седиментации и накопления продуктивного пласта BK_1^1

полевых шпатов (по соотношению к общему количеству всех зерен полевых шпатов); формирование аутигенного каолинита в составе глинистых минералов цемента пород; появление аутигенных карбонатных минералов (сидерита, кальцита).

Рассмотрим подробнее процессы, связанные с формированием карбонатных минералов. Всего было проанализировано около 274 петрографических шлифов по 11 скважинам Красноленинского месторождения.

Так, количество аутигенного сидерита в породах коллекторах варьирует от 0,5% до 10%. Нередко процесс формирования аутигенного сидерита тесно связан с изменениями слюдяных минералов в полимиктовых терригенных породах, а именно биотита. Одним из основных процессов изменения биотита является хлоритизация, которая сопровождается его гидратацией. Железо, освободившееся при гидратации биотита, в основном фиксируется в виде сидерита. Поэтому максимальное содержание сидерита обычно отмечается в продуктивных отложениях пластов $ВК_1$ – $ВК_3$, где часто наблюдается повышенная слюдяность алевролитовых пород (рис. 15, а).

Нередко аутигенный сидерит не только развивается по биотиту, но и формирует микроконкреционные образования в породах (рис. 15, б).

Содержание кальцита в породах-коллекторах викуловской свиты переменное, варьирует от 0% до 50%, иногда и более. Фоновое содержание кальцита в отложениях пластов $ВК_1$ – $ВК_3$ составляет 0,5–5%, иногда 10%. Карбонатно-алевролитовые породы смешанного состава связаны с межпластовой толщей, разделяющей продуктивные пласты $ВК_2$ – $ВК_3$ и $ВК_1$. Распределение карбонатного вещества и его структура (присутствие микритового кальцита, не только яснокристаллического) позволяют предположить его седиментационную природу (рис. 15, в).

В отложениях толщи «врез» фоновое содержание кальцита (в цементе обломочных пород) обычно не превышает первых процентов. При этом встречаются образцы, где количество аутигенного порового или порово-базального кальцитового цемента составляет 20–40% и более (рис. 15, г, д).

Структура карбонатного вещества может различаться по следующим причинам: 1) в породе встречен кальцит с микритовой и яснокристаллической структурой; 2) преобладает яснокристаллический кальцит. Генезис кальцита может быть обусловлен как процессами седиментогенеза, так и эпигенеза. Появление аутигенного яснокристаллического кальцита, возможно, сопряжено с наличием залежей углеводородов, в том числе вторичной цементацией пород на водонефтяном контакте (ВНК) в условиях бактериального окисления нефтей и изменения состава пластовых вод. На это указывают изменения изотопного состава углерода ($\delta^{13}C$), вызванные появлением значительно облегченного бикарбоната, который образуется в процессе анаэробного окисления метана (Леин, 2004). Такие случаи отмечены в отложениях толщи «врез» в ряде скважин, но наиболее контрастно проявились в разрезе скв. ХХ006. На рис. 16 показаны уровни появления кальцита в цементных алевритово-песчаных породах.

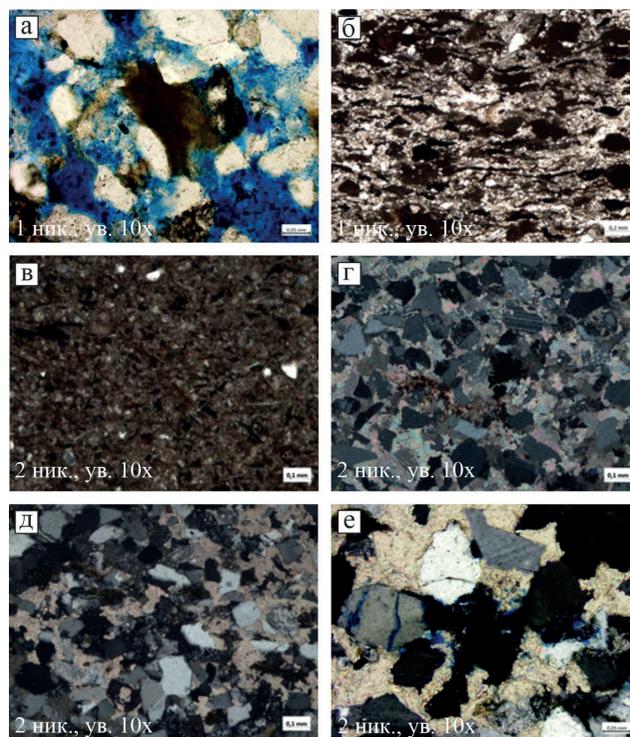


Рис. 15. Фото петрографических шлифов: а – сидеритизация биотита, скв. ХХ006, глубина 1496,13 м; б – конкреционные образования сидерита, скв. ХХ73, глубина 1509,23 м; в – карбонатно-алевролитовая порода, скв. ХХ73, глубина 1525,74 м; г – песчаник мелкозернистый алевритовый полимиктовый (граувакковый аркозовый) с глинисто-карбонатным цементом, скв. ХХ006, глубина 1504,13 м; д – алевритово-песчаная порода с глинисто-карбонатным цементом, скв. ХХ006, глубина 1496,03 м; е – участки выщелачивания карбонатного цемента в мелкозернистом песчанике, скв. ХХ006, глубина 1500,82 м

Для уточнения природы кальцита были привлечены методы изотопной геохимии, с помощью которых установлены различия в содержании изотопов углерода и кислорода в кальците (табл. 1)

Облегчение изотопного состава углерода в образцах 96004 и 28044 до (–12,8...–13,7‰, VPDB) указывает на смешанный источник бикарбоната, участвовавшего в формировании карбонатов. Кроме бикарбоната из окружающей морской воды присутствовал изотопно более легкий, вероятно, образовавшийся в диагенезе/катагенезе из органического вещества. Облегчение $\delta^{18}O$ (до –18,9...–20,2‰, VPDB) также подтверждает возникновение карбонатов в процессе катагенеза при существенно более высокой температуре по сравнению с придонной. Для обр. 28054 характерно распределение стабильных изотопов углерода, близкое к изотопному составу современной морской воды, что говорит об отсутствии вторичных диагенетических преобразований. Однако изотопный состав кислорода $\delta^{18}O$ (–15,8‰, VPDB) отражает вторичное взаимодействие карбоната с более горячими флюидами (до 135 °С) и говорит о присутствии трещин, заполненных вторичным кальцитом. Высокотемпературные потоки флюидов, проходящие по ослабленным диа- и катагенезом трещинным зонам в толщах комплекса, воздействовали на породы не только химически, кристаллизуя гидротермальные минералы, но и термически, повышая температуру преобразованности (Карпова и др., 2021).



Рис. 16. Схема вторичных преобразований и типы коллекторов в отложениях викуловской свиты по данным скв. XX006

Скважина	№ образца	Глубина, м	Тип породы	$\delta^{13}\text{C}$, ‰, VPDB	$\delta^{18}\text{O}$, ‰, VPDB
ХХ006	96004	1496,03	Алевритово-песчаная порода с глинисто-карбонатным цементом	-12,8	-18,9
ХХ006	28044	1500,8	Песчаник мелкозернистый с глинисто-карбонатным цементом	-13,7	-20,2
ХХ006	28054	1503,07	Алеврит с карбонатным цементом	-3,5	-15,8

Табл. 1 Содержание изотопов углерода и кислорода

Для термически преобразованных зон характерны большие изменения коэффициента пористости (увеличение ФЕС) за счёт уменьшения содержания кальцита в цементе пород, которое связано с растворением кальцита в процессе формирования залежи. Это обусловлено присутствием углекислоты, которая является неизбежным продуктом метаболизма микроорганизмов и обладает растворяющим действием на кальцит.

Коррозия кальцита является результатом медленного непрерывно-прерывистого формирования залежи, в результате чего происходит улучшение емкости пород-коллекторов в пределах нефтегазоносной зоны (Сахибгареев, 1989).

Все это стало причиной неоднородного распределения коллекторов различного типа, а также локальных уровней с крайне низкими значениями ФЕС.

На рис. 16 показаны глубины, где встречены коллекторы разного типа, а также слабопроницаемые участки. Диаметр пор выщелачивания в карбонатизированных алевритово-песчаных породах может составлять 0,5–0,8 мм и более и формировать микрокаверны (рис. 15, е).

Кроме того, в разрезе этой же скважины в верхней части толщи «врез» отмечено появление остаточного битуминозного вещества в поровом пространстве пород. Наблюдаются также регенерационные оторочки вокруг зерен кварца, которые сложены аутигенным кварцем. Их количество значительно превышает фоновые значения, которые составляют 0,5–1% (рис. 16). Некоторыми авторами отмечено, что характер распределения в разрезах регенерационного кварца совместно с битумами отражает их приуроченность к самой верхней части залежи, а именно к первому уровню стабилизации ВНК (Сахибгареев, 1989).

Заключение

В результате проведенного исследования изучены терригенные отложения викуловской свиты, которые формировались как под воздействием речных систем, так и вне их действия.

Установлено, что в строении толщи «врез» участвует сложностроенный комплекс отложений, этапы развития которого отражают смену обстановок осадконакопления от аллювиальных до переходных эстуариевого комплекса.

В разрезах скважин выделены различные генетические типы отложений, сформированных разнообразными процессами: флювиальными, приливно-отливными, волновыми, в результате которых образуются тела различной морфологии и толщины.

Отложения пластов группы ВК₁–ВК₃ накапливались преимущественно в пределах верхней и нижней частей подводного берегового склона, где преобладали штормовые процессы. Смена обстановок седиментации отражена в структурно-текстурных особенностях пород и обычно

связана с изменениями относительного уровня моря. При наиболее низком уровне стояния моря образуются отложения пляжа и лучшие породы-коллекторы.

Чередование и сочетание обстановок с разнообразием морфологических аккумулятивных форм и обстановок распространения глинисто-алевритовых отложений с включениями и линзами песчаного состава обеспечило формирование природного резервуара пластов ВК₁–ВК₃.

Уточнен минералогический состав основных типов пород. Для алевритово-песчаных пород отмечена постепенная смена состава: от граувакк к граувакковым аркозам, далее собственно к аркозам и олигомиктовым разностям. Высокое содержание растительного детрита в тонкозернистых породах, а также его структурные параметры, часто соизмеримые с преобладающим диаметром зерен, позволяют рассматривать этот компонент как один из породообразующих совместно со слюдами. При этом растительный детрит часто придает алевритам темные окраски, что визуальнo интерпретируется как «глинистость».

Отмечены вторичные процессы литогенеза, которые оказывали как положительное, так и отрицательное влияние на ФЕС пород-коллекторов.

Появление повышенных значений содержания карбонатного цемента в песчаниках приконтурной зоны залежей, по мнению ряда авторов, предполагает садку кальцита на ВНК. Такие уровни стабилизации ВНК установлены в разрезе толщи «врез» скв. ХХ006. Различная природа кальцита подтверждена методами изотопной геохимии.

Разнообразная картина распределения проницаемых, слабопроницаемых и практически непроницаемых пород нередко обусловлена наложенными процессами при формировании залежи углеводородов.

Благодарность

Авторы выражают глубокую признательность рецензенту за детальное изучение статьи и сделанные замечания, что позволило улучшить качество и информативность работы.

Литературы

Александров В.М., Казанская Д.А., Белкина В.А. (2015). Особенности геологического строения темпеститов в отложениях викуловской свиты. *Территория «Нефтегаз»*, (2), с. 36–43.

Алексеев В.П., Амон Э.О., Федоров Ю.Н., Глебов А.Ф., Залевский О.А., Качкин А.А., Лебедев А.И., Чернова О.С. (2011). Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 325 с.

Алексеев В.П. (2014). Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра). Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 236 с.

Долотов Ю.С. (1989). Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления. М.: Наука, 269 с.

Жемчугова В.А. (2014). Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем. М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина, 341 с.

Исакова Т.Г., Дьяконова Т.Ф., Носикова А.Д., Савченко Д.С., Коробова Н.И., Сауткин Р.С., Калмыков А.Г., Калмыков Г.А. (2020). Новые представления о модели коллектора викуловской свиты Краснolenинского месторождения (Западная Сибирь). *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, (3), с. 66–74. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2020-3-66-74>

Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. (1991). Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.

Карношина Е.Е., Коробова Н.И., Серпикова В.М. (2003). Аптский нефтеносный комплекс месторождения Каменное (Западная Сибирь). *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, (3), с. 8–15.

Карпова Е.В., Хотылев А.О., Мануилова Е.А., Майоров А.А., Краснова Е.А., Хотылев О.В., Балушкина Н.С., Калмыков Г.А., Калмыков А.Г. (2021). Гидротермально-метасоматические системы как важнейший фактор формирования элементов нефтегазового комплекса в баженско-абалакских отложениях. *Георесурсы*, 23(2), с. 142–151. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.14>

Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Никитенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н. (2014). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде. *Геология и геофизика*, 55(5–6), с. 745–776.

Крашенинников Г.Ф. (1971). Учение о фациях. М.: Высш. шк., 368 с.

Леин А.Ю. (2004). Аутигенное карбонатообразование в океане. *Литология и полезные ископаемые*, (1), с. 3–35

Медведев А.Л., Лопатин А.Ю., Зверев К.В. (2006). Фациальная модель пластов ВК1-3 викуловской свиты Каменного месторождения (Западная Сибирь). *Геомодель-2006: Тез. докл. VIII науч.-практ. конф.* М.: Изд-во «ООО Геомодель Консалтинг», с. 150–152.

Медведев А.Л., Хэндфорд Р., Лопатин А.Ю., Зверев К.В., Масалкин Ю.В., Кузина Е.В. (2009). Новый нефтеперспективный объект – комплекс заполнения врезанных долин в продуктивных пластах викуловской свиты Каменного месторождения. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (1), с. 4–20.

Медведев А.Л. (2010). Аптские врезанные речные долины Каменной площади Западной Сибири: региональные аспекты нефтегазоносности. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 5(3). http://www.ngtp.ru/rub/4/36_2010.pdf

Обстановки осадконакопления и фации: в 2 т. Т. 1. Под ред. Х.Г. Рединга. (1990). М.: Мир, 352 с.

Сахибгареев Р.С. (1989). Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. Л.: Недра, 260 с.

Чистяков А.А., Макарова Н.В., Макаров В.И. (2000). Четвертичная геология. М.: ГЕОС, 303 с.

Шанцер Е.В. (1966). Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. *Труды ГИН АН СССР*, (161). М.: Наука, 240 с.

Шванов В.Н. (1987). Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 269 с.

Шишлов С.Б. (2016). Позднеаптские речные долины в пределах Краснolenинского свода Западной Сибири (верификация сейсмофациальной модели результатами структурно-генетического анализа кернового материала). *Осадочные комплексы Урала и прилегающих регионов и их минералогия: Мат. 11 Урал. литолог. совещания*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, с. 289–292.

Хуснуллина Г.Р. (2014). Геологическое строение и условия формирования продуктивных пластов викуловской свиты Краснolenинского месторождения нефти (Западная Сибирь): Дис. канд. геол.-мин. наук. Тюмень: ТГНГУ, 195 с.

Aschoff J.L., Olariu C.C., Steel R.J. (2018). Recognition and significance of bayhead delta deposits in the rock record: A comparison of modern and ancient systems. *Sedimentology*, 65(1), pp. 62–95. <https://doi.org/10.1111/sed.12351>

Boyd R., Dalrymple R.W., Zaitlin B.A. (2006). Estuarine and incised-valley facies models. *SEPM Special Publication*, (84), pp. 171–235. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84.0171>

Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), pp. 1130–1146. <https://doi.org/10.1306/D4267A69-2B26-11D7-8648000102C1865D>

Dalrymple R.W., Boyd R., Zaitlin B.A. (1994). Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences. *SEPM Special Publication*, (51), 395 p. <https://doi.org/10.2110/pec.94.51>

Сведения об авторах

Наталья Ивановна Коробова – ассистент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

Надежда Сергеевна Шевчук – инженер кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1
e-mail: n.shevchuk@oilmsu.ru

Евгения Емельяновна Карношина – доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

Роман Сергеевич Сауткин – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

Елизавета Андреевна Краснова – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; старший научный сотрудник, Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН
Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

Статья поступила в редакцию 06.04.2023;

Принята к публикации 26.05.2023; Опубликована 30.06.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Composition and structure features of the Vikulov productive deposits (Krasnoleninsky arch) and their influence on reservoir properties

N.I. Korobova¹, N.S. Shevchuk^{1}, E.E. Karnyushina¹, R.S. Sautkin¹, E.A. Krasnova^{1,2}*

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Nadezhda S. Shevchuk, e-mail: n.shevchuk@oilmsu.ru

Abstract. Both sedimentological factors and secondary processes of lithogenesis influenced the formation of porosity

and permeability properties of the reservoir rocks of the Vikulov suite of the Krasnoleninskoe field. The former

includes the conditions of sedimentation of the deposits of the Vikulov suite, which at the initial stages of its formation were controlled by the development of a system of incised river valleys, the stages of filling of which, like their composition, have their own characteristics. Also, various genetic types of deposits were formed here. The formation of the upper part of the Vikulov suite took place in a shallow-marine setting, in conditions of storm and wave shallow water, which affected the thin-layered structure of the VK₁₋₃ reservoir. On the other hand, in the sections of a number of wells, dense interlayers are noted, the formation of which is associated with both sedimentation and superimposed processes in lithogenesis, including the formation of hydrocarbon deposits. Therefore, the prediction of the distribution of productive reservoir rocks is the main task when creating a petrophysical model of the field, and to solve this problem, the methods of lithofacies and staged core analysis are used in the work.

Keywords: Vikulov suite, reservoir, rock types, sedimentation environments, secondary processes

Recommended citation: Korobova N.I., Shevchuk N.S., Karnyushina E.E., Sautkin R.S., Krasnova E.A. (2023). Composition and structure features of the Vikulov productive deposits (Krasnoleninsky arch) and their influence on reservoir properties. *Georesursy = Georesources*, 25(2), pp. 105–122. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.8>

References

- Aleksandrov V.M., Kazanskaya D.A., Belkina V.A. (2015). Features of the geological structure of tempest in vikulovskie suite sediments. *Territoriya «NEFTEGAZ»*, 2, pp. 36–43. (In Russ.)
- Alekseev V.P., Amon E.O., Fedorov Yu.N. (2011). Composition, structure and conditions of formation of reservoirs of the VK group of the eastern part of the Krasnoleninskoye oil field (Western Siberia). Yekaterinburg: USMU. 325 p. (In Russ.)
- Alekseev V.P. (2014). Atlas of subaqueous facies of the Lower Cretaceous deposits of Western Siberia (KhMAO-Yugra). Yekaterinburg: USMU, 236 p. (In Russ.)
- Aschoff J.L., Olariu C.C., Steel R.J. (2018). Recognition and significance of bayhead delta deposits in the rock record: A comparison of modern and ancient systems. *Sedimentology*, 65(1), pp. 62–95. <https://doi.org/10.1111/sed.12351>
- Boyd R., Dalrymple R.W., Zaitlin B.A. (2006). Estuarine and incised-valley facies models. *SEPM Special Publication*, (84), pp. 171–235. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84.0171>
- Chistyakov A.A., Makarova N.V., Makarov V.I. (2000). Quaternary geology. Moscow: GEOS, 303 p. (In Russ.)
- Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), pp. 1130–1146. <https://doi.org/10.1306/D4267A69-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Dalrymple R.W., Boyd R., Zaitlin B.A. (1994). Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences. *SEPM Special Publication*, (51), 395 p. <https://doi.org/10.2110/pec.94.51Dolotov Yu.S.> (1989). Dynamic relief-forming and depositional sedimentary environments in the near-shore marine area. M.: Science. 269 p.
- Husnullina G.R. (2014). Geologic structure and conditions of forming productive strata of the Vikulov formation of the Krasnoleninskoye oil field (Western Siberia). PhD thesis. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 195 p. (In Russ.)
- Isakova T.G., Diakonova T.F., Nosikova A.D., Savchenko D.S., Korobova N.I., Sautkin R.S., Kalmykov A.G., Kalmykov G.A. (2020). New notions of Vikulovskaya series reservoir model in the area of Krasnoleninskoye field (Western Siberia). *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, (3), pp. 66–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2020-3-66-74>
- Kaplin P.A., Leontiev O.K., Lukyanov S.A., Nikiforov L.G. (1991). Coasts. Moscow: Mysl', 479 p. (In Russ.)
- Karnyushina E.E., Korobova N. I., Serpikova V. M. (2003). Aptsky oil complex, Kamennoye field (Western Siberia). *Bulletin of Moscow State University. Series 4. Geology*, (3), pp. 8–15. (In Russ.)
- Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Karogodin Yu.N., Kontorovich V.A., Lebedeva N.K., Nikitenko B.L., Popova N.I., Shurygin B.N. (2014). Cretaceous paleogeography of the west Siberian sedimentary basin. *Russian Geology and Geophysics*, 54(8), pp. 972–1012. (In Russ.)
- Krashennnikov G.F. (1971). The doctrine of facies. Moscow: Vyssh. shkola, 368 p. (In Russ.)
- Medvedev A.L., Lopatin A.U., Zverev K.V. (2006). Facies model of the VK1-3 formations of the Vikulov suite of the Kamennoye deposit (Western Siberia). *Geomodel-2006: abstracts of the VIII scientific-practical conference*. Moscow: Geomodel Konsalting, pp. 150–152. (In Russ.)
- Medvedev A.L., Hanford Ch.R., Lopatin A.Yu., Zverev K.V., Masalkin Yu.V., Kuzina Ye.V. (2009). New oil-bearing facility – incised valley filling complex in productive strata of the Vikulov formation of the Kamenye field. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefijnyh i gazovyh mestorozhdeniy*, (1), pp. 4–20. (In Russ.)
- Medvedev A.L. (2010). Aptian incised river valleys of the Kamennoye field, Western Siberia: regional aspects of petroleum potential. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 5(3). (In Russ.)
- Reding H.G., Collinson J.D., Allen F.A., Elliott T., Shreiber B.Sh., Johnson G.D., Baldwin K.T., Sellwood B.U., Jenkins H.K., Stowe D.A.V., Edwards M., Mitchell A.H.G. (1990). Sedimentation and facies conditions. Moscow: Mir, vol. 1, 352 p. (In Russ.)
- Sakhigareev R.S. (1989). Reservoir secondary changes in the process of formation and destruction of oil deposits. Leningrad: Nedra. (In Russ.)
- Shantser E.V. (1966). Essays on the doctrine of the genetic types of continental sedimentary formations. *Proceedings of the GIN of the Academy of Sciences of the USSR*, is. 161. Moscow: Nauka, 240 p. (In Russ.)
- Shvanov V.N. (1987). Petrography of sandy rocks (component composition, taxonomy and description of mineral species). Leningrad: Nedra, 269 p. (In Russ.)
- Shishlov S.B. (2016). Late Aptian river valleys within the Krasnoleninsky arch of Western Siberia (verification of the seismic facies model by the results of structural genetic analysis of core material). *Sedimentary complexes of the Urals and adjacent regions and their mineralogy: Proc. 11th Ural Lithological conference*, pp. 289–292. (In Russ.)
- Zhemchugova V.A. (2014). Practical application of reservoir sedimentology in modeling hydrocarbon system. Moscow: Gubkin Russian State University of oil and gas, 341 p. (In Russ.)

About the Authors

Nataliya I. Korobova – Assistant of the Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskiye Gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Nadezhda S. Shevchuk – Engineer, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation
e-mail: n.shevchuk@oilmsu.ru

Evgeniya E. Karnyushina – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Roman S. Sautkin – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Petroleum Geology Department, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskiye Gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Elizaveta A. Krasnova – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University; Senior Researcher, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Manuscript received 6 April 2023;
Accepted 26 May 2023; Published 30 June 2023