

УДК 551.311.31

doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.128-140

ПРИЗНАКИ ЭОЛОВОГО ВЛИЯНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПЕРМСКОЕ ВРЕМЯ (ТАТАРСТАН, РОССИЯ)

А.И. Муллакаев, Р.Р. Хасанов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

Песчаные отложения могут иметь различный генезис и формироваться в разнообразных обстановках осадконакопления. На примере битуминозных песчаников раннепермского возраста на территории Татарстана (Россия) показана возможность их сложного, полигенного формирования с кардинальной переработкой исходных отложений под действием наложенных процессов. На основе палеогеоморфологического анализа и минералого-литологических исследований установлено влияние эоловых процессов на формирование песчаного горизонта, имеющего двухъярусное строение. В результате кратковременной регрессии моря прибрежно-морские пески частично оказались выше уровня моря. Верхняя часть песчаных отложений была подвергнута эоловой переработке с выдуванием из песков глинистой компоненты, что привело к образованию двух пачек – верхней песчаной и нижней песчано-глинистой. Граница между ними представляет собой древнюю поверхность Стокса (зеркало грунтовых вод), которая может быть использована в качестве репера при построении геологических моделей.

Ключевые слова: пески, песчаники, битумные залежи, генезис, эоловые процессы, палеогеоморфология

Введение

Пески и песчаники являются одним из наиболее распространенных типов пород. Как показано в фундаментальной монографии Ф. Петтиджона с соавторами [1], они могут образоваться в результате действия разнообразных геологических процессов или их сочетания, которые приводят к разрушению горных пород, переносу и отложению их обломков. В зависимости от условий и обстановок накопления пески и песчаники характеризуются большим разнообразием состава, размера и формы зерен обломочного материала. Образование песчаников может быть полигенным и нести в себе признаки разных обстановок осадконакопления. В связи с наложением различных экзогенных процессов установление генезиса песчаных отложений является сложной геологической задачей, требующего комплексного подхода. Это осложняет решение производственных задач, связанных с разведкой и разработкой битуминозных песчаных отложений в качестве полезных ископаемых. К числу сложных объектов относятся битуминозные песчаники шешминского горизонта, залегающие в юго-



Рис. 1. Область распространения шешминских битумонасыщенных песчаных отложений (поле с черными точками) в пределах Татарстана. Пунктирной линией показаны схематичные границы структурно-тектонических элементов (1 – Токмовский свод, 2 – Верхнекамская впадина)

восточной части Республики Татарстан (РТ), которая расположена на востоке европейской части Российской Федерации (рис. 1). Тектонически область распространения битуминозных отложений приурочена к центральной части Волго-Уральской антеклизы (Южно-Татарский свод). Пески и песчаники шешминского горизонта завершают разрез уфимского яруса на территории РТ [2–5]. Они представляют интерес ввиду разработки битумных залежей в качестве месторождений высоковязких нефтей [3].

Продуктивная часть шешминского горизонта локализована на западном склоне Южно-Татарского свода, где залегают в виде полосы протяженностью до 180 км при ширине около 40 км. Разработку сверхвязких нефтей и природных битумов на территории РТ осуществляет ПАО «Татнефть» методом парогравитационного дренажа [3]. Шешминский горизонт делится (снизу вверх) на различающиеся по составу песчано-глинистую P_{1uss}^1 и песчаную P_{1uss}^2 пачки. Особенностью верхней (P_{1uss}^2) пачки является практически полное отсутствие глинистой компоненты [4], что указывает на иные, чем у нижней пачки, условия формирования. О специфических условиях образования песков и песчаников шешминского горизонта свидетельствует также закономерно ориентированная морфология их поверхности. Она представлена последовательно расположенными грядами (возвышенностями), вытянутыми с северо-запада на юго-восток (рис. 1). Возвышенности рельефа, образованные утолщениями горизонта, представляют собой серию линейно вытянутых удлиненных тел, содержащих битумные залежи.

Пески и песчаники шешминского горизонта косослоистые (рис. 2) красно-, сероцветные, по составу представлены граувакковыми разностями [6]. Они в различной степени сцементированы и битумонасыщены. Важнейшим свойством отложений шешминского горизонта на изучаемой территории является их косослоистость, которая может указывать на сложные динамические условия седиментации или переотложения. Особенности состава слоев песков и песчаников могут быть обусловлены влиянием различных факторов в процессе их образования. Полученные данные свидетельствуют об их сложном, полигенном происхождении.

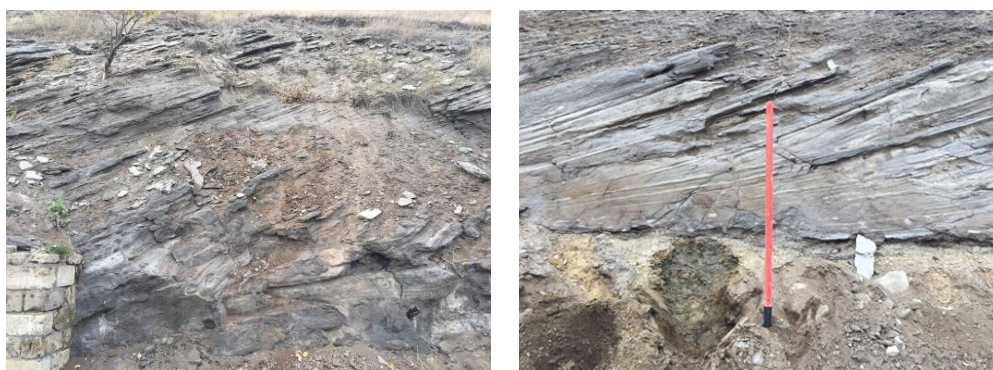


Рис. 2. Косая слоистость песчаных отложений шешминского горизонта

Состояние проблемы и методика исследований

Вопрос происхождения шешминских битумсодержащих песков и песчаников многие годы остаётся дискуссионным. Образование терригенных уфимских пород практически все исследователи единодушно связывают с разрушением уральских магматогенных комплексов и выносом обломочного материала на равнину. В то же время существуют принципиальные расхождения в оценке условий их формирования и происхождения песков и песчаников шешминского горизонта. Обзор литературы показывает широкий разброс мнений у различных исследователей. Так, А.В. Нечаев [7], М.Э. Ноинский [8] относили песчаники к континентальным отложениям, возникшим в условиях жаркого аридного климата. Е.И. Тихвинская [9] предполагала, что отложения также континентальные, но образовались в условиях влажного климата. В.И. Игнатьев [10] считал их делювиальными, аллювиальными, дельтовыми образованиями. О дельтовом происхождении песчаников писал также Л.В. Пустовалов [11], а Н.Н. Форш [12] относил их в общей массе к аллювиальным отложениям. Г.А. Петров и П.Д. Павлов [13] считают шешминские песчаники останцами размыва предказанского времени. Целый ряд исследователей (А.М. Садреев, З.Г. Сайфуллин [14], П.А. Шалин [15], Г.Т. Юдин [16], Р.Х. Муслимов и др. [5]) высказывали предположение об их баровом происхождении, а В.П. Батуринов [17] и С.С. Эллерн [18] считали их отложениями «сухих дельт». На основе гранулометрического анализа шешминских песков и песчаников Б.В. Успенским [4] высказаны предположения об их прибрежно-морском и дельтовом происхождении. Н.Г. Нургалиева с соавторами [19] на основе интерпретации геофизических данных и изучения кернового материала относят шешминские отложения к аллювиальным и дельтовым образованиям. Причина широкого разброса мнений может быть связана с наличием у песчаников ряда специфических признаков, которые позволяют исследователям по-разному трактовать их происхождение. Таким образом, можно констатировать, что изучаемая толща песчаников имеет сложное происхождение. По всей видимости, она не может быть продуктом только одного процесса и, вероятнее всего, является полигенным образованием. В связи с этим нами были высказаны предположения [20] о возможном эоловом воздействии на изучаемые толщи песков, которые в целом имеют признаки прибрежно-морских отложений.

Действительно, изучаемые пески и песчаники обладают многими признаками субаквального происхождения, но при этом содержат черты различных типов фациальных обстановок, не удовлетворяя в полной мере ни одной из них. Они не могут быть отнесены и к промежуточным дельтовым образованиям из-за их нехарактерного пространственного размещения. Дельты образуют древовидные ветвистые тела [21], которые здесь не наблюдаются. При определенных условиях эти древовидные тела могут «срастаться» между собой, образуя линейно вытянутые песчаные тела, именуемые также «баровые пальцы» [21]. Однако подобные тела, как правило, имеют в плане серповидную морфологию, которая оконтуривает фронт продвижения дельты, что не наблюдается и в морфологии шешминских песков и песчаников.

С целью выяснения условий образования шешминских песков и песчаников нами был проведен комплекс исследований, включающий в себя изучение состава и морфологических особенностей обломочных минералов, а также анализ их внутреннего строения. Объектом исследования послужили пески и песчаники шешминского горизонта, извлеченные на поверхность в результате бурения.

Особое внимание было уделено морфологии поверхности песчаных отложений, которая обусловлена особенностями древнего погребенного рельефа. В этом случае при геоморфологическом анализе необходимо учитывать то, что исследуемый погребенный рельеф в полной мере таковым не является [22]. На формы рельефа, сохранившиеся в рассматриваемый геологический этап, накладываются другие формы рельефа, образующиеся, например, в процессе размыва наступающим морем. После захоронения, уже под влиянием тектонических и неотектонических процессов на погребенном рельефе формируется наложенный рельеф. Таким образом, изучаемый палеорельеф не является в полной мере рельефом и называть его стоит ископаемой поверхностью [22], так как, пройдя через все этапы формирования, он несет в себе черты всех процессов, имевших место на данной территории после седиментации. Соответственно, основная задача палеогеоморфологического анализа заключается в том, чтобы выявить структуры первоначального рельефа, очистив их от наложенных изменений.

Результаты петрографического и палеогеоморфологического анализа позволяют внести некоторые коррективы в описание механизма формирования шешминских песков и песчаников.

Результаты и их обсуждение

Важным признаком определенных условий формирования является минералого-петрографический состав песков и песчаников. Шешминский горизонт по особенностям состава разделяется на песчано-глинистую и песчаную пачки. По минеральному составу пески и песчаники обеих пачек полимиктовые, относятся к граувакковой группе [6], иногда к субграувакковым. В минеральном составе их обломочного материала преобладают обломки магматогенных (интрузивных и эффузивных) пород и кварц, в меньшей степени встречаются альбит, кальцит, хлорит и пирит. Во всех песчаниках встречаются также фрагменты фемических (пироксенов, амфиболов) и редких аксессуарных (магнетит, циркон и др.) минералов. Состав пород обусловлен разрушением магматогенных комплексов на Урале и сносом материала на равнину [23]. Обломки зерен угловатые, что характерно

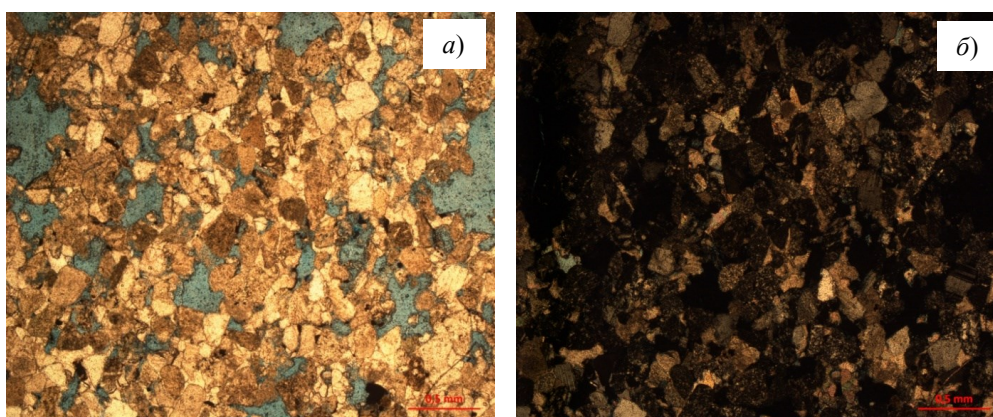


Рис. 3. Песчаник: *a* – структура обломочных минералов в проходящем свете при одном николе (голубовато-серое – окрашенные поры); *б* – то же, николи скрещены

для переноса во взвешенном состоянии. Коэффициент сортировки обломочного материала варьируется от 1.5 до 1.9. Степень сортировки увеличивается вверх по разрезу. Цемент в песчаниках имеет глинисто-карбонатный состав с явно выраженным подчиненным значением глинистых минералов, причем вверх по разрезу глинистые минералы исчезают вовсе или встречаются крайне редко [6]. По характеру выделений и заполнения пустотного пространства карбонатный цемент является вторичным [24] и не связан с первичными условиями осадконакопления. Наибольший интерес представляет глинистая компонента, которая сингенетична обломочному материалу и является следствием седиментационного процесса. Специфической особенностью верхней пачки является практически полное отсутствие глинистой компоненты [3], что нехарактерно для субаквальных отложений. Дельтовые отложения обычно сложены частицами, имеющими размерность от грубо-обломочной (конгломераты), алевритовой до пелитовой [25]. Отсутствие в составе песков и песчаников глинистых минералов характерно больше для эоловых отложений, из которых они удаляются ветром [1].

Другой характерный признак – это морфология поверхности. При изучении песчаных тел большое внимание уделяется форме тел, так как форма может определяться условиями седиментации [25]. Однако рельеф погребенной поверхности может быть сформирован в результате как первично-осадочных, так и наложенных факторов [22]. Из последних наиболее важным является действие тектонических процессов. С целью устранения следов влияния постседиментационной тектоники на формирование рельефа поверхности песчаных отложений шешминского горизонта был выполнен палеотектонический анализ [26]. По горизонту вышезалегающих «спириферовых» известняков, исходя из принципа первичной субгоризонтальности морских отложений, было произведено выравнивание поверхности слоев. В результате выравнивания произошло уменьшение амплитуды утолщений горизонта, что говорит о влиянии тектоники, однако в целом они сохранились. Таким образом, можно констатировать, что холмистая поверхность шешминских песков и песчаников возникла не в результате последующих тектонических деформаций, а обусловлена особенностями условий осадконакопления.

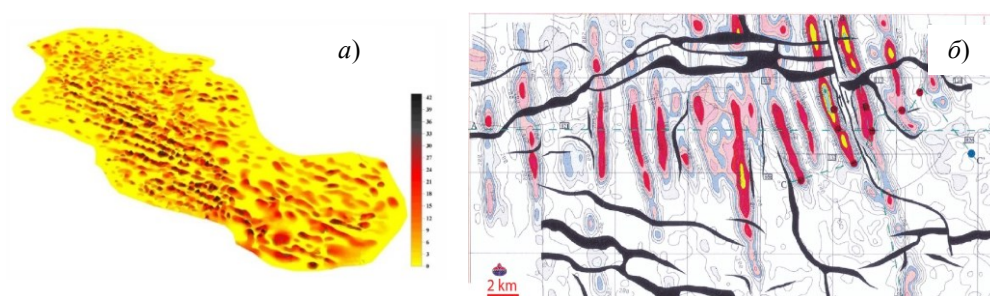


Рис. 4. Структура поверхности линейно-вытянутых песчаных тел: *a* – модель поверхности песчаных тел-ловушек шешминского горизонта (справа шкала толщин песчаной пачки в метрах) [27]; *б* – формация Норфлет, Мексиканский залив, США [28, 29]

Как было указано выше, песчаные тела шешминского горизонта имеют вытянутую форму в виде субпараллельно-ориентированных гряд, что отчетливо видно на модели поверхности песчаных тел-ловушек [27]. Они могут интерпретироваться как морские бары, русловые пески или отложения фронта дельт. Однако их пространственное расположение не в полной мере отвечает морфологии прибрежно-морских отложений, которые формируются, как правило, в условиях высокой степени турбулентности среды. Постоянное противодействие эрозионных и аккумулятивных сил не позволяет формироваться множественным субпараллельным структурам. В случае формирования берегового бара происходит разрушение его уже сформированной части, перенос и новое отложение песчаного материала вдольбереговыми течениями [25].

Учитывая специфику геоморфологии, можно предположить, что наблюдаемый в шешминских песках рельеф поверхности мог образоваться под действием ветра. Его рисунок характерен для форм рельефа, образуемых ветром в пустынях, в частности в прибрежных пустынях. Действительно, похожие формы рельефа мы можем наблюдать в древних прибрежных пустынях – формация Норфлет [28] (*Norphlet Formation*) в восточной части Мексиканского залива, которая обладает высокой степенью схожести с горизонтом шешминских песчаников по рисунку поверхности (рис.4, *б*).

Руководствуясь методом актуализма, мы можем рассмотреть механизмы образования подобных структур на современных объектах. Ярким примером современных прибрежных пустынь может служить пустыня Намиб (рис. 5), расположенная вдоль побережья Атлантического океана юга Африки и характеризующаяся похожим рельефом поверхности [30]. Формирование такого рельефа происходит вследствие постоянной активности ветра, дующего со стороны океана, что приводит к образованию серии песчаных гряд. Они получили название линейных дюн, которые обладают чрезвычайно схожим строением с шешминскими песчаниками.

Механизм формирования горизонта шешминских песков и песчаников можно представить следующим образом. Согласно реконструкциям [10, 17], в конце шешминского времени на границе с казанским веком исследуемая территория была занята красной шешминской пустыней, причем не просто пустыней, а приморской аллювиальной или аллювиально-озерной равниной, располагавшейся между областями сноса и мелководным морским бассейном [31].



Рис. 5. Эоловые формы рельефа пустыни Намиб (Намибия) [30]

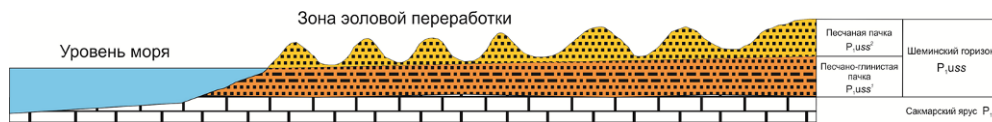


Рис. 6. Схема формирования эоловых форм рельефа шешминских песчаников

По всей видимости, в шешминское время на пике морской трансгрессии, происходил обширный снос обломочного материала и накопление песчано-глинистой толщи в субаквальных (прибрежно-морских) условиях. В результате эвстатических или тектонических причин, произошла регрессия моря, которая обнажила ранее накопленные в прибрежной зоне пески. Таким образом, верхняя часть песчаного слоя оказалась выше уровня моря и подверглась эоловой переработке, что привело к удалению глинистой компоненты. В результате эоловой деятельности в прибрежной зоне формировались эоловые формы рельефа, аналогичные современной пустыни Намиб или формации Норфлет. Нижняя пачка была ограничена сверху поверхностью Стокса [1], то есть зеркалом грунтовых вод, которое соответствовало уровню шешминского моря, и исполняла роль локального базиса эрозии. По этой причине она не подвергалась эоловой эрозии и сохранила первоначальный песчано-глинистый состав. Угловатость обломков, характерная для песков и песчаников верхней пачки, может наблюдаться и в песках эолового происхождения. На угловатость обломков влияет множество факторов, таких как размер частиц, тип перемещения частиц, скорость ветра, его направленность и вообще длительность переотложения ветром. Примером может служить пустыня Сахара, пески которой отличаются явной угловатостью [17]. В результате казанской трансгрессии эоловые структуры (дюны) подверглись частичному размыву и были перекрыты байтуганскими глинистыми илами (горизонт «лингуловых глин»). Палеотектонические реконструкции показывают, что происходило заполнение илами понижений между эоловыми возвышенностями [26], образуя структуры облекания. Схема формирования горизонта шешминских песков и песчаников и его разделения на две пачки показана на рис. 6.

Таким образом, шешминские пески и песчаники характеризуются полигенностью и одновременно несут в себе признаки прибрежно-морских и эоловых отложений.

Заключение

Первоначальное накопление шешминских песков происходило в субаквальных прибрежно-морских условиях. В предказанское время в результате кратковременной регрессии уфимского моря верхняя часть песков оказалась над поверхностью моря и подверглась эоловой переработке, что стало причиной разделения слоя однородных по составу песков на две пачки, различающиеся по содержанию глинистых минералов. В результате казанской трансгрессии верхняя часть шешминских песков подверглась частичному размыву и была перекрыта илистыми отложениями байтуганского горизонта (горизонта «лингuloвых глиин»).

Литологически обоснованная граница раздела двух пачек имеет большое практическое значение и в силу своей исходной субгоризонтальности может использоваться в качестве основы для моделирования. Наиболее битумонасыщенной является верхняя песчаная пачка, поэтому при моделировании залежей сверхвязких нефтей и природных битумов можно ограничиться только верхней пачкой, которая отделена от нижней пачки поверхностью Стокса (уровнем грунтовых вод).

Благодарности. Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Литература

1. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. – М.: Мир, 1976. – 534 с.
2. *Тропольский В.И., Лебедев Н.П.* Продуктивные битуминозные толщи пермских отложений Мелекесской впадины и Татарского свода. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1982. – 104 с.
3. *Хисамов Р.С., Гатиятуллин Н.С., Шаргородский И.Е., Войтович Е.Д., Войтович С.Е.* Геология и освоение залежей природных битумов РТ. – Казань: Фэн, 2006. – 295 с.
4. *Успенский Б.В., Валеева И.Ф.* Геология месторождений природных битумов Республики Татарстан. – Казань: ООО «ПФ «Гарт», 2008. – 347 с.
5. *Муслимов Р.Х., Романов Г.В., Каюкова Г.П., Искрицкая Н.И., Шаргородский И.Е., Успенский Б.В., Волков Ю.А., Сагдеева М.М., Якубов М.Р., Боровский М.Я., Кемалов Р.А., Юсупова Т.Н., Копылов А.Ю., Янгуразова З.А., Петров Г.А., Плотникова И.Н., Петров С.М.* Комплексное освоение тяжелых нефтей и природных битумов пермской системы Республики Татарстан. – Казань: Фэн, 2012 – 396 с.
6. *Хасанов Р.Р., Муллакаев А.И., Дусманов Е.Н.* Состав песчаников в продуктивных горизонтах пермских битумных залежей Татарстана // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2017. – Т. 159, кн. 1. – С. 164–173.
7. *Нечаев А.В., Замятин А.Н.* Геологическое исследование северной части Самарской губернии // Труды Геол. комитета. Новая сер. – 1913. – Вып. 84. – 207 с.

8. *Ноинский М.Э.* Краткий очерк изучения недр Татарской республики // Геология и полезные ископаемые в Татарской республике. – Казань, 1932. – С. 7–25.
9. *Тихвинская Е.И.* Уфимская свита европейской части СССР // Учен. зап. Казан. гос. ун-та. – 1941. – Т. 101, кн. 1. – С. 213–220.
10. *Игнатьев В.И.* Формирование Волго-Уральской антеклизы в пермский период. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. – 256 с.
11. *Пустовалов Л.В.* Условия осадконакопления в верхнепермскую эпоху // Проблемы советской геологии. – 1937. – Т. 7, № 11. – С. 963–992.
12. *Фори Н.Н.* Уфимская свита и казанский ярус. – Л.: Гостоптехиздат, 1955. – 156 с.
13. *Павлов П.Д., Петров Т.А.* К вопросу о поисках битумов в песчаниках уфимского яруса // Вопросы геологии и нефтеносности Среднего Поволжья. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1974. – С. 59–71.
14. *Садреев А.М., Сайфуллин З.Г.* Особенности строения и формирования битумных скоплений и линзовидных пластов шешминских песчаников на западном склоне Южного купола Татарского свода // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтегазовая геология и геофизика». – 1976. – № 1. – С. 23–27.
15. *Шалин П.А.* О природе палеогеоморфологических ловушек нефти и битумов в шешминском горизонте Южно-Татарского свода // Геология нефти и газа. – 1988. – № 5. – С. 35–38.
16. *Гольдберг И.С., Юдин Г.Т.* Вопросы классификации, образования и размещения скоплений битумов // Геология битумов и битумовмещающих пород. – М.: Наука, 1979. – С. 15–20.
17. *Батурин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 339 с.
18. *Эллерн С.С.* Условия образования палеогеоморфологических ловушек нефти и газа в верхнепермских отложениях Волго-Уральской области // Труды ВНИГНИ. – М., 1980. – Вып. 216: Палеогеоморфологические методы в нефтяной геологии. – С. 38–44.
19. *Нурғалиева Н.Г., Ихсанов Н.А., Нурғалиев Д.К., Даутов А.Н.* Фациальная характеристика шешминских битуминозных отложений // Нефтяное хозяйство – 2016. – № 4. – С. 72–75.
20. *Mullakaev A., Khasanov R.* The Aeolian factor in the formation of the Sheshmian Horizon sands and sandstones in the Permian of the South-Tatar Arch // Barclay M., Nikolaeva S., Silantiev V. (Eds.) Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. – Bologna, Italy: Filodiritto Publ., – P. 381–385.
21. *Fisk H.N.* Bar-finger sands of Mississippi delta // Geometry of Sandstone Bodies: A Symposium. – Am. Assoc. Petrol. Geol., 1961. – P. 29–52. – doi: 10.1306/SV22354C3.
22. *Проходский С.И.* Вопросы геоморфологического изучения ископаемых поверхностей // Труды ВНИГНИ. – М., 1975. – Вып. 170: Палеогеоморфологические методы при нефтегазовых работах. – С. 98–102.
23. *Khasanov R.R., Mullakaev A.I.* Paleogeographic factors of the formation of Permian reservoir rocks of bitumen deposits in the east of the Russian plate (Russia) // Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2016. – V. 1. – P. 469–474. – doi: 10.5593/SGEM2016/B11/S01.059.
24. *Mullakaev A.I., Khasanov R.R., Galiullin B.M.* Mineralogy of sandstones and localization of oil matter in productive horizons of high-viscosity oil in permian deposits of the Volga-Ural region (Russia) // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM: Conf. Proc. – 2017. – V. 17, No 11. – P. 353–358. – doi: 10.5593/sgem2017/11/S01.045.

25. *Конибир Ч.Э.* Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел. – М.: Недра, 1979. – 256 с.
26. *Муллакаев А.И., Делев А.Н., Усманов С.А., Судаков В.А., Хасанов Р.Р.* Тектонические причины неравномерного распределения зон цементации в продуктивной части битуминозных песчаников шешминского горизонта Южно-Татарского свода // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 23–25. – doi: 10.24887/0028-2448-2018-2-23-25.
27. *Ахметшин А.З.* Геологические основы освоения сверхвязкой нефти в нижнепермских и уфимских отложениях центральной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Казань, 2016. – 199 с.
28. *Douglas S.W.* The Jurassic Norphlet Formation of the Deep-Water Eastern Gulf of Mexico: A Sedimentologic Investigation of Aeolian Facies, their Reservoir Characteristics, and their Depositional History: Master's Thesis. – Waco, Texas: Baylor University, 2010. – 68 p.
29. *Storv C.* Norphlet geology and 3-D geophysics: Fairway Field, Mobile Bay, Alabama // The Leading Edge. – 1998. – V. 17, No 2. – P. 243–248.
30. Пустыня Намиб – встреча с океаном // Фотостранник: Интересные и увлекательные фотопутешествия по миру. – URL: <http://fotostranik.com/pustyinya-namib-vstrecha-s-okeanom.html>.
31. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. – Л.: Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной лит., 1961. – 778 с.

Поступила в редакцию
11.12.18

Муллакаев Алмаз Ильясович, ассистент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: almazmullakaev@gmail.com

Хасанов Ринат Радикович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой региональной геологии и полезных ископаемых

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: Rinat.Khassanov@kpfu.ru

doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.128-140

**Signs of the Aeolian Influence on the Formation
of Coastal-Marine Sand Deposits in the Permian (Republic of Tatarstan, Russia)***A.I. Mullakaev**, *R.R. Khasanov****Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*E-mail: **almazmullakaev@gmail.com*, ***Rinat.Khasanov@kpfu.ru*

Received December 11, 2018

Abstract

Sandy deposits can have a different genesis and form in different sedimentation environments. The example of the tar sands of the Early Permian age of the Republic of Tatarstan (Russia) shows the possibility of their complex and polygenic formation with the cardinal processing of the initial sediments under the influence of superimposed processes. Using paleogeomorphological analysis and mineralogical and lithological studies, the effect of aeolian processes on the formation of a sandy horizon with a two-layer structure has been established. As a result of the short-term sea regression, the coastal-marine sands were partially above the sea level. The upper part of the sandy sediments was subjected to aeolian processes with the blowing of the clay component from the sands, which led to the formation of two benches – the upper sandy and the lower sandy-clayey ones. The boundary between them is the ancient groundwater table (Stokes surface), which can be used as a reference point in the development of geological models.

Keywords: sands, sandstones, bituminous deposits, genesis, aeolian processes, paleogeomorphology

Acknowledgments. The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University.

Figure Captions

- Fig. 1. Range of Sheshmian bitumen-enriched sandy deposits (shown as an area with black dots) in Tatarstan. Schematic borders of the structural-tectonic elements (1 – Tokmovskii arch, 2 – Upper-Kama depression).
- Fig. 2. Oblique bedding of sandy deposits of the Sheshmian horizon.
- Fig. 3. Sandstones: *a* – the structure of detrital minerals in transmitted light, single nicol (bluish-gray – stained pores); *b* – the same, crossed nicols.
- Fig. 4. Surface structure of linear sand bodies: *a* – the model of the surface of sand body traps of the Sheshmian horizon (thickness of the sandy bench (m) is given on the scale) [27]; *b* – the Norphlet formation, Gulf of Mexico, United States [28, 29].
- Fig. 5. Aeolian relief forms of the Namib desert (Namibia) [30].
- Fig. 6. Formation of aeolian relief forms in the Sheshmian sandstones.

References

1. Pettijohn F., Potter P., Siever R. *Sand and Sandstone*. New York, Springer, 1972. 618 p. doi: 10.1007/978-1-4612-1066-5.
2. Troepol'skii V.I., Lebedev N.P. *Produktivnye bituminoznye tolshchi permiskikh otlozhenii Melekesskoi vpadiny i Tatarskogo svoda* [Productive Bituminous Strata of the Permian Deposits of the Melekess Depression and the Tatar Arch]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1982. 104 p. (In Russian)

3. Khisamov R.S., Gatiyatullin N.S., Shargorodskii I.E., Voitovich E.D., Voitovich S.E. *Geologiya i osvoenie zalezhei prirodnikh bitumov Respubliki Tatarstan* [Geology and Development of Natural Bitumen Deposits in the Republic of Tatarstan]. Kazan, Fen, 2006. 295 p. (In Russian)
4. Uspenskii B.V., Valeeva I.F. *Geologiya mestorozhdenii prirodnikh bitumov Respubliki Tatarstan* [Geology of Natural Bitumen Deposits in the Republic of Tatarstan]. Kazan, ООО "PF "Gart", 2008. 347 p. (In Russian)
5. Muslimov R.Kh., Romanov G.V., Kayukova G.P., Iskritskaya N.I., Shargorodskii I.E., Uspenskii B.V., Volkov Yu.A., Sagdeeva M.M., Yakubov M.R., Borovskii M.Ya., Kemalov R.A., Yusupova T.N., Kopylov A.Yu., Yangurazova Z.A., Petrov G.A., Plotnikova I.N., Petrov S.M. *Kompleksnoe osvoenie tyazhelykh neftei i prirodnikh bitumov permskoi sistemy Respubliki Tatarstan* [Complex Extraction of Heavy Crude Oils and Natural Bitumens of the Perm System of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Fen, 2012. 396 p. (In Russian)
6. Khasanov R.R., Mullakaev A.I., Dusmanov E.N. The structure of sandstones in productive horizons of the Permian bituminous deposits of Tatarstan (Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2017, vol. 159, no. 1, pp. 164–173. (In Russian)
7. Nechaev A.V., Zamyatin A.N. Geological studies of the northern part of the Samara province. *Tr. Geol. Kom. Nov. Ser.*, 1913, no. 84. 207 p. (In Russian)
8. Noinskii M.E. Brief history of mineral investigation in the Tatar Republic. In: *Geologiya i poleznye iskopaemye v Tatarskoi respublike* [Geology and Mineral Resources of the Tatar Republic]. Kazan, 1932, pp. 7–25. (In Russian)
9. Tikhvinskaya E.I. The Ufimian formation in the European part of the Soviet Union. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 1941, vol. 101, no. 1, pp. 213–220. (In Russian)
10. Ignat'ev V.I. *Formirovanie Volgo-Ural'skoi anteklizy v permskii period* [Formation of the Volga-Ural Antecline in the Permian Period]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1976. 256 p. (In Russian)
11. Pustovalov L.V. Conditions of sediment formation during the Upper Permian. *Probl. Sov. Geol.*, 1937, vol. 7, no. 11, 1937, pp. 963–992. (In Russian)
12. Forsh N.N. *Ufimskaya svita i kazanskii yarus* [The Ufimian Formation and the Kazanian Stage]. Leningrad, Gostoptekhizdat, 1955. 156 p. (In Russian)
13. Pavlov P.D., Petrov G.A. On the problem of searching for bitumens in the sandstones of the Ufimian stage. In: *Voprosy geologii i neftenosnosti Srednego Povolzh'ya* [Problems of Geology and Oil Content of the Middle Volga Region]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1974, pp. 59–71. (In Russian)
14. Sadreev A.M., Sayfullin Z.G. Features of the structure and formation of bitumen accumulations in lensoid strata of the Sheshmian sandstones on the west flank of the South cupola of the Tatar dome. *Pet. Geol.*, 1976, vol. 13, no. 6, pp. 269–271.
15. Shalin P.A. On the nature of paleogeomorphological oil and bitumen traps in the Sheshmian horizon of the South-Tatar arch. *Geol. Nefti Gaza*, 1988, no. 5, pp. 35–38. (In Russian)
16. Goldberg I.S., Yudin G.T. Problems of classification, formation, and position of bitumen accumulations. In: *Geologiya bitumov i bitumovmeshchayushchikh porod* [Geology of Bitumens and Bitumen-Hosting Rocks]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 15–20. (In Russian)
17. Baturin V.P. *Petrograficheskii analiz geologicheskogo proshlogo po terrigennym komponentam* [Petrographic Analysis of the Geological Past from Terrigenous Components]. Moscow, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1947. 339 p. (In Russian)
18. Ellern S.S. Conditions of development of paleogeomorphological oil and gas traps in the Upper Permian deposits of the Volga-Ural region. *Tr. VNIGNI*, 1980, no. 216, pp. 38–44. (In Russian)
19. Nurgalieva N.G., Ikhsanov N.A., Nurgaliev D.K., Dautov A.N. Facial characteristics of the Ufimian bituminous sediments. *Neft. Khoz.*, 2016, no. 4, pp. 72–75. (In Russian)
20. Mullakaev A., Khasanov R. The Aeolian factor in the formation of the Sheshmian Horizon sands and sandstones in the Permian of the South-Tatar Arch. In: Barclay M., Nikolaeva S., Silantiev V. (Eds.) *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources*. Bologna, Italy, Filodiritto Publ., pp. 381–385.
21. Fisk H.N. Bar-finger sands of Mississippi delta. In: *Geometry of Sandstone Bodies: A Symposium*. Am. Assoc. Petrol. Geol., 1961, pp. 29–52. doi: 10.1306/SV22354C3.

22. Prokhodskii S.I. Problems of geomorphological investigation of fossil surfaces. *Tr. VNIGNI*, 1975, no. 170, pp. 98–102. (In Russian)
23. Khasanov R.R., Mullakaev A.I. Paleogeographic factors of the formation of Permian reservoir rocks of bitumen deposits in the east of the Russian plate (Russia). *Proc. Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2016, vol. 1, pp. 469–474. doi: 10.5593/SGEM2016/B11/S01.059.
24. Mullakaev A.I., Khasanov R.R., Galiullin B.M. Mineralogy of sandstones and localization of oil matter in productive horizons of high-viscosity oil in Permian deposits of the Volga-Ural region (Russia). *Proc. 17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf., SGEM*, 2017, vol. 17, no. 11, pp. 353–358. doi: 10.5593/sgem2017/11/S01.045.
25. Conybeare C.E.B. *Geomorphology of Oil and Gas Fields in Sandstone Bodies*. Elsevier Sci., 1976. 340 p.
26. Mullakaev A.I., Delev A.N., Usmanov S.A., Sudakov V.A., Khasanov R.R. Tectonic causes of uneven cementation zones distribution in the bituminous sandstones productive part of the Sheshmian horizon of the South Tatar arch. *Neft. Khoz.*, 2018, no. 2, pp. 23–25. doi: 10.24887/0028-2448-2018-2-23-25. (In Russian)
27. Akhmetshin A.Z. Geological outlines for ultra-viscous oil development in the Lower Permian and Ufimian sediments of the central part of the Volga-Ural oil and gas province. *Cand. Geol.-Mineral. Diss. Kazan*, 2016. 199 p. (In Russian)
28. Douglas S.W. The Jurassic Norphlet Formation of the Deep-Water Eastern Gulf of Mexico: A Sedimentologic Investigation of Aeolian Facies, their Reservoir Characteristics, and their Depositional History. *Master's Thesis*. Waco, Texas, Baylor Univ., 2010, 68 p.
29. Story C. Norphlet geology and 3-D geophysics: Fairway Field, Mobile Bay, Alabama. *The Leading Edge*, 1998, vol. 17, no. 2, p. 243–248. (In Russian)
30. The Namib desert – encountering the ocean. In: *Fotostrannik: Interesnye i uvlekatel'nye fotoputeshestviya po miru* [Photo Wanderer: Interesting and Fascinating Photo Trips around the World]. Available at: <http://fotostranik.com/pustyinya-namib-vstrecha-s-oceanom.html> (In Russian)
31. Rukhin L.B. *Osnovy litologii* [Outlines of Lithology]. Leningrad, Gos. Nauchno-Tekh. Izd. Neft. Gorn.-Topl. Lit., 1961. 778 p. (In Russian)

Для цитирования: Муллакаев А.И., Хасанов Р.Р. Признаки эолового влияния на формирование прибрежно-морских песчаных отложений в пермское время (Татарстан, Россия) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 1. – С. 128–140. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.128-140.

For citation: Mullakaev A.I., Khasanov R.R. Signs of the aeolian influence on the formation of coastal-marine sand deposits in the Permian (Republic of Tatarstan, Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 1, pp. 128–140. doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.128-140. (In Russian)