

УДК 552.51

СОСТАВ ПЕСЧАНИКОВ В ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТАХ ПЕРМСКИХ БИТУМНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ТАТАРСТАНА

Р.Р. Хасанов¹, А.И. Муллакаев¹, Е.Н. Дусманов²

¹*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

²*ТГРУ ПАО «Татнефть», г. Казань, 420111, Россия*

Аннотация

В статье рассмотрены особенности песчаников продуктивных горизонтов пермских битуминозных отложений Татарстана. Состав и внутренняя структура песчаников изучены методами оптической микроскопии, электронного парамагнитного резонанса и электронной микроскопии с использованием физических и химических методов. Исследованные песчаники относятся к граувакковой группе. В составе обломочного материала песчаников встречаются зерна полевого шпата, кварца, слюды, а также частицы вулканических пород. Характер и состав цемента являются важными параметрами, определяющими фильтрационно-емкостные свойства осадочных пород. Битумные залежи характеризуются вертикальной зональностью, которая выражается в чередовании участков с различной степенью цементации пород.

Ключевые слова: битумы, пески и песчаники, минеральный состав, коллекторские свойства, структура

Введение

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция относится к старым нефтедобывающим регионам, где ресурсы нефти в нефтеносных структурах традиционного типа в значительной степени выработаны. Дальнейшие перспективы развития региона могут быть связаны с вовлечением в эксплуатацию дополнительных сырьевых источников. В Республике Татарстан одним из наиболее перспективных объектов являются проявления природных битумов [1–5], ресурсы которых по разным оценкам составляют от 1.5 до 10 млрд т. Особый интерес исследователей прикован к битумам в связи с началом их промышленного освоения. Битумы представляют собой многоцелевое и многофункциональное сырье, из которого могут производиться топливо, масла и др. В настоящее время отдельные участки месторождений природных битумов в Татарстане рассматриваются как источники высоко- и сверхвязких нефтей (СВН). В ПАО «Татнефть» для разработки битумных полей применяется технология парогравитационного воздействия на пласт. Эта технология позволяет извлекать легкие нефтяные фракции в результате прогрева битумосодержащих пород разогретым водяным паром [4]. Эффективность извлечения зависит от особенностей циркуляции флюидов в породах продуктивной толщи. В связи с этим большую

актуальность приобретают вопросы, связанные с составом и коллекторскими свойствами вмещающих их пород.

Объект и методы исследования

Объектом настоящего исследования являются битумосодержащие пески и песчаники уфимского яруса пермской системы, вскрытые скважинами в пределах Южно-Ашальчинского и Больше-Каменского поднятий на территории Татарстана [1–5]. Битумные залежи связаны с терригенно-обломочными породами шешминского горизонта, которые непосредственно залегают под горизонтом «лингуловых глин». Шешминский горизонт состоит из слоя песков и песчаников и слоя песчано-глинистых пород с высокими коллекторскими свойствами. Битумонасыщенные пески и песчаники в основном мелко-, реже – среднезернистые полимиктовые, их окраска меняется от темно-серых до светло-серых с зеленоватым оттенком, у битуминизированных разностей – от коричневых до черных. Пески и песчаники участками косослоистые, что указывает на сложные гидродинамические условия их образования. Вопросы формирования битумосодержащих пород до конца не решены. Многие исследователи сходятся во мнении о прибрежно-морском происхождении уфимской терригенной толщи пород [1]. Уфимские породы залегают в приповерхностных условиях на глубинах до 300–400 м. Степень их преобразования не превышает стадии диагенеза.

Для изучения состава и внутренней структуры пород битумонасыщенного горизонта были проведены исследования методами оптической микроскопии, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и электронной микроскопии с использованием для решения специальных задач ряда физических и химических методов.

Результаты исследований и их обсуждение

Вещественный состав и морфология обломков минеральных зерен в песках и песчаниках являются важнейшим показателем условий их образования и преобразования [6]. Петрографические исследования показали, что по минеральному составу все исследованные песчаники полимиктовые и относятся к граувакковой группе [7], среди которых встречаются субграувакковые и граувакковые кристалло-литокластовые разновидности [8].

Состав и строение песков и песчаников. Субграувакковые песчаники характеризуются более высоким содержанием кварца и меньшим содержанием силикатных и темноцветных минералов, чем в граувакковых кристалло-литокластовых песчаниках. Минеральный состав субграувакковых песчаников: кварц – 10–15%, плагиоклаз – 2%, ожелезненные зерна темноцветных минералов – 5–7%, обломки эффузивных пород – до 20–40%, обломки кремнистых пород – 5–8%, пирит – 1%, карбонат – 3–30%, количество пустот варьирует в широких пределах – 1–25%. Структура средне-мелкозернистая псаммитовая. Обломки темноцветных минералов, эффузивов и кремнистых пород окатанные либо полуокатанные, обломки кварца и полевых шпатов полуокатанные, реже слабоокатанные

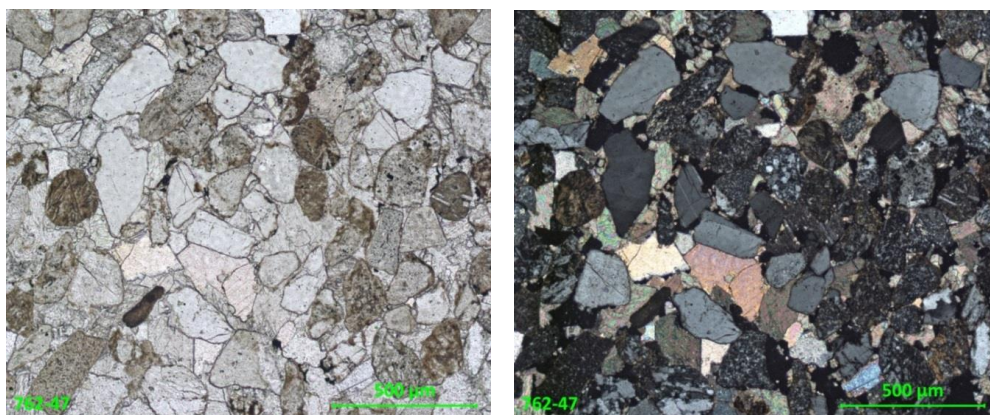


Рис. 1. Песчаник граувакковый: слева – при одном николе; справа – николи скрещены

и угловатые. Расположение зерен в породе беспорядочное, текстура массивная (рис. 1), участками наблюдается слабовыраженная полосчатость, обусловленная наличием чешуек слюд и вытянутостью фрагментов углистого детрита. Цемент контактовый, реже поровый, базальный, сложенный кальцитом и глинистыми минералами. Песчаники граувакковые кристалло-литокластовые состоят на 50–55% из обломков мелкозернистой псаммитовой и среднезернистой псаммитовой размерности. Минеральный состав: кварц – 6–8%, плагиоклаз – 2–3%, ожелезненные зерна темноцветных минералов – до 10%, обломки эффузивных пород – 20–40%, обломки кремнистых пород – до 3%, пирит – около 1%, карбонатные минералы цемента пород – от первых до 40–50%. Обломки породообразующих минералов, магматогенных и кремнистых пород слабоокатанные, иногда угловатые. Текстура песчаников массивная, цемент поровый, местами базальный. Состав цемента карбонатный с размерами зерен 0.05–0.5 мм. Битумное вещество заполняет в основном поровое пространство, обволакивая при этом обломки пород, зерна кварца и полевых шпатов.

Таким образом, в минеральном составе песков и песчаников преобладают обломки кварца, полевых шпатов, в меньшей степени встречаются альбит, кальцит, хлорит и пирит. Во всех песчаниках встречаются также многочисленные обломки магматогенных (интрузивных и эффузивных) пород, фемических (пироксенов, амфиболов) и акцессорных (магнетит, циркон и др.) минералов. Такой состав пород обусловлен поступлением обломочного материала с разрушавшихся в пермское время Уральских гор [9, 10]. Рентгенофазовый анализ показал также наличие иллита, хлорита и ортоклаза.

Цемент и структура пустотно-порового пространства. Породы шешминского горизонта представлены рыхлыми несцементированными разновидностями (песками) и плотными, крепко-сцементированными песчаниками (рис. 2). В рыхлых песках роль цемента играет органическое (нефтяное) вещество, которое обволакивает обломки пород, кварца, полевых шпатов и других минералов. В песчаниках часть цемента представлена карбонатными минералами (до 80%), часть – глинистым веществом (до 20%). Размер пор достигает 0.1–0.2 мм, количество – до 25%, некоторая их часть соединяется между собой.

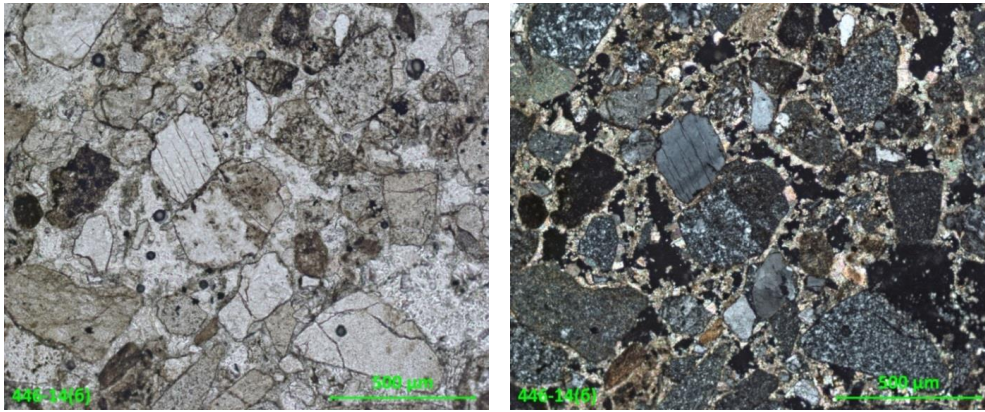


Рис. 2. Карбонатный цемент: слева – при одном николе; справа – николи скрещены

Размер и структура пор, а также рисунок порового пространства определяются формой минеральных обломков, которые в исследуемых породах недостаточно отсортированы и для которых свойственна угловатость. Для слоев с преобладающей алевритовой размерностью зерен характерен карбонатно-глинистый цемент базального типа (рис. 3, *a*), для слоев с обломками псаммитовой размерности – карбонатный порового типа. Около 3% цемента имеет пелитоморфную структуру, образуя округлые либо овальные выделения. Карбонатные минералы цемента характеризуются размерами зерен до 0.3 мм. Представлены они преимущественно кальцитом, который уверенно диагностируется по сигналам Mn^{+} в спектрах ЭПР и рентгеновским дифрактограммам. Некоторые крупные зерна характеризуются наличием зоны регенерации. Песчаники с карбонатным цементом отличаются массивной текстурой и наибольшей крепостью. К минералам цемента можно отнести также пирит, который образует редкие ксеноморфные изометричные зерна, включающие в себя другие частички (кварц, полевой шпат, обломки горных пород). Размер зерен пирита достигает 1.5–2 мм. Образование пирита происходит в диагенезе и связано с процессами сульфат-редукции, свойственными для осадков с органическим веществом. Биогенное происхождение пирита подтверждается характерными фрамбоидными выделениями (рис. 3, *б*). Пирит также оказывает негативное действие на коллекторские свойства пород, заполняя поровое пространство. Однако масштабы пиритизации в песчаниках незначительны.

Анализ пород шешминского горизонта по разрезу скважин позволил выявить зональность в строении битумной залежи. Установлено, что рыхлые горизонты тяготеют к верхним участкам продуктивного горизонта, а крепкие разновидности преобладают в приподошвенных участках. Эта закономерность может быть объяснена цементацией пород ниже зоны водо-нефтяного контакта [11], где возникали геохимические контрасты между нефтяными водами и водами вмещающих толщ. Источником кальция для кристаллизации рассеянного кальцита в поровом пространстве песчаников, по всей видимости, были подземные воды красноцветных уфимских отложений, обладающие благоприятными для миграции кальция щелочными свойствами. Можно предположить, что миграция нефтяного вещества происходила в еще не сцементированных песках.

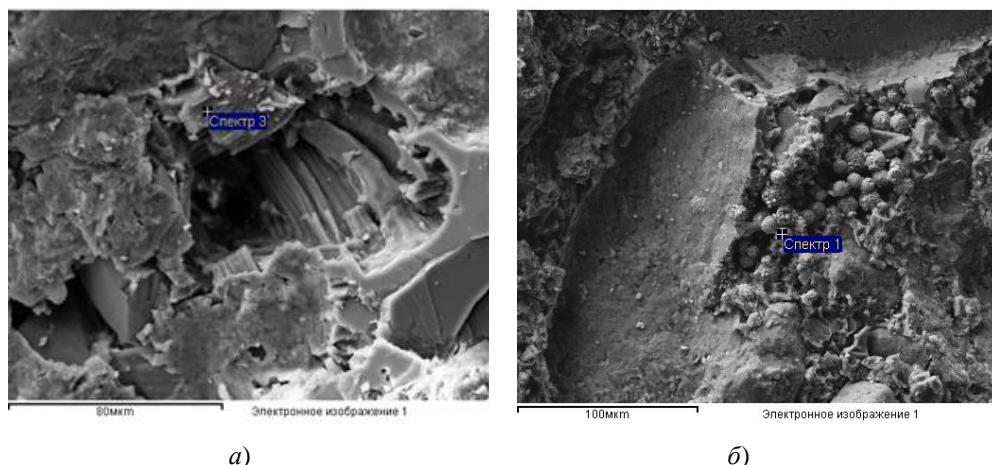


Рис. 3. Заполнение пустотно-порового пространства песчаников минеральным веществом: *а)* глинистые минералы в порах, *б)* фрамбонды диагенетического пирита

Кальцитизация песчаников сопровождала процесс формирования нефтяной залежи на всех ее этапах. Наличие вертикальной зональности, обусловленной последовательным чередованием участков с различной степенью цементации пород, указывает на то, что формирование залежи носило длительный характер. Особенности внутреннего строения резервуара обусловлены сочетанием первично-седиментологических и наложенных признаков. Выяснение условий образования резервуаров и их прогноз могут быть выполнены на основе детального структурно-текстурного анализа разреза песчаникового тела, особенно в условиях его формирования в зоне сочленения речных и морских отложений [12].

Для изучения внутреннего строения и закономерностей распределения минералов в структуре битумонасыщенных пород был применен метод рентгеновской компьютерной микротомографии. Анализы выполнены в Институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ (лаборатория рентгеновской компьютерной томографии, прибор Phoenix v|tome|x s240). Путем построения 3D-модели изучаемого объекта метод позволяет видеть всю внутреннюю структуру порового пространства образца. В результате сканирования областей с различной средней плотностью на рентгеновском томографе были получены объемные изображения образца в трех измерениях. По данным рентгеновской компьютерной томографии внутреннее пространство исследованных пород неоднородно. На томографических срезах наблюдаются минеральные зерна, среди которых видны отдельные более плотные включения различной формы и межзерновое пространство. Основная масса минеральных частиц состоит из зерен породообразующих минералов с включениями более плотных рудных минералов (пирита). Пустотно-поровое пространство в рассматриваемых породах представлено системами сообщающихся и изолированных пор (рис. 4). Отмечается отчетливо выраженная закономерность повышения частоты встречаемости пор в зависимости от уменьшения размера пор.

Органическое вещество (ОВ) является важным компонентом битуминозных песков и песчаников шешминского горизонта. Для выяснения особенностей

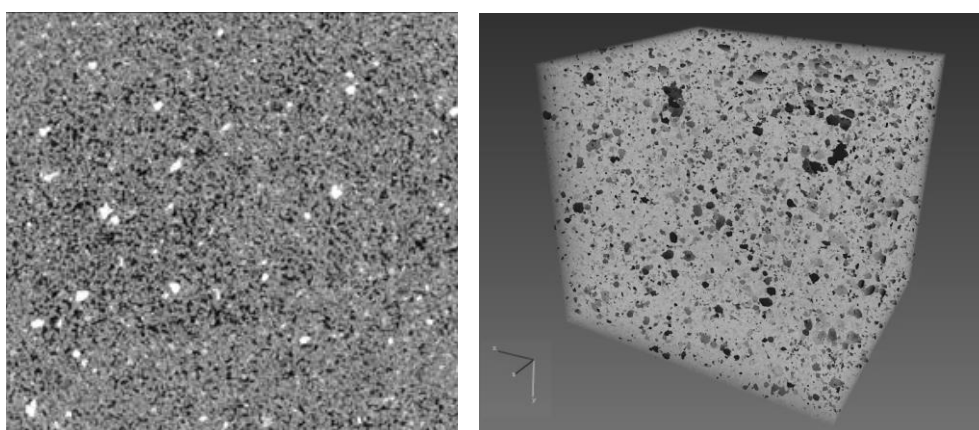


Рис. 4. Визуальная характеристика пустотно-порового пространства в битуминозном песчанике по данным компьютерной томографии: слева – двумерное изображение (серое и белое – минеральные зерна, черное – поры), справа – трехмерное изображение (светло-серое – минеральный матрикс, серое и темно-серое – поры)

Табл. 1

Элементный состав битума

№	Место отбора образца	№ образца	Литология	С	Н	N
1	Больше-Каменское поднятие	4	Песчаник	81.48	11.10	0.20
2	Больше-Каменское поднятие	15	Песчаник	79.06	11.10	0.34
3	Больше-Каменское поднятие	16	Песчаник	80.39	11.07	0.27
4	Южно-Ашальчинское поднятие	10	Песчаник	72.05	10.08	0.32
5	Южно-Ашальчинское поднятие	24	Песчаник	83.31	11.62	0.33
6	Южно-Ашальчинское поднятие	38	Песчаник	78.16	10.56	0.31
7	Южно-Ашальчинское поднятие	45	Песчаник	78.13	10.14	0.50
8	Южно-Ашальчинское поднятие	6	Песчаник	81.51	11.27	0.35

состава ОВ битумов и закономерностей распределения его типов нами был использован метод ЭПР-спектроскопии [13]. Образцы изучались по разрезу скважин и были отобраны с кровельной, средней и приподошвенной частей продуктивного пласта. В результате установлено, что в изученных образцах присутствует два типа ОВ, различающиеся органическими радикалами [8]. Первый тип представляет собой ОВ угольного происхождения, которое сингенетично осадконакоплению и представлено остатками наземной и морской растительности (водорослей). Его содержание в породах не превышает 1–2%. Присутствие в породах углефицированных остатков водорослей свидетельствует о формировании осадков в водной среде в прибрежно-морских условиях.

Второй тип ОВ относится к нефтяному ряду, в котором углеводороды характеризуются определенными соотношениями углерода (С), водорода (Н) и азота (N). По особенностям своего состава природное ОВ подразделяется на нефти различной вязкости и битумы. Результаты определения элементного состава ОВ в исследованных образцах представлены в табл. 1. Органическое вещество проанализированных образцов относится к битумам и имеет следующий элементный состав: С (72.05–83.31%), Н (10.08–11.62%), N (0.20–0.50%).

Близость значений параметров указывает на однородность состава битумного вещества. Некоторые отмечаемые вариации состава могут быть связаны с различной степенью окисленности образцов, отобранных по разрезу скважин из приконтактовых и центральных участков залежи.

Битумы обладают сложной структурой и составом. В битумах выделяют группы углеводородов с более или менее сходными свойствами. Такими группами являются масла, смолы, асфальтены и их модификации (карбены и карбониды), асфальтогеновые кислоты и их ангидриды. Групповой химический состав во многом определяет свойства нефтей и битумов [4]. В исследованных образцах групповой состав извлекаемого из породы хлороформенного битумоида А (ХБА) варьирует в широких пределах. В целом он характеризуется следующими параметрами: мальтены (масла + петролейные эфиры и смолы) – 32.78–56.23%, смолы в сумме 34.14–53.74%, асфальтены – 9.31–23.52%, что укладывается в состав типичного битума. В целом ОВ в исследованных образцах по содержанию масел можно отнести к разряду тяжелых нефтей (мальты и асфальты) [4]. В то же время основные группы углеводородов имеют высокую степень изменчивости, что выражается в изменении свойств битумов (подвижность, текучесть, вязкие свойства и пластичность) в очень широких пределах. Наличие в составе битумов значительного процента асфальтенов указывает на разрушение нефтяного вещества в приповерхностных условиях.

Необходимо подчеркнуть, что нефтяное вещество имеет глубинную природу и связано с притоком с более глубоких горизонтов. Следы миграции в виде мелких битумопроявлений отмечаются в кавернах и полостях карбонатных пород нижней перми и верхнего карбона [2].

Заключение

Породами коллекторами являются прежде всего пески и песчаники слабоцементированные и слабоизвестковистые. Коллекторские свойства пород отчасти зависят от степени окатанности обломочной компоненты. Угловатость обломков способствует увеличению пространства между зернами минералов и обломков магматогенных пород. Степень битуминозности пород увеличивается в разностях с глинистым цементом или при полном отсутствии вещества цемента в порах. Известковистые песчаники, как правило, более плотные и отличаются меньшей степенью битуминозности или практически ее полным отсутствием. Установлено, что емкостью для углеводородов в большей степени служат поры и в меньшей – трещины.

Битумные залежи характеризуются вертикальной зональностью, которая выражается в чередовании участков с различной степенью цементации пород.

Наличие в составе битумов значительного процента асфальтенов указывает на разрушение нефтяного вещества в приповерхностных условиях.

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. Методическое руководство по поискам, оценке и разведке месторождений твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан: в 3 ч. Ч. 1 / Под ред. Ф.М. Хайретдинова, Р.М. Файзуллина. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1999. – 256 с.
2. Продуктивные битуминозные толщи пермских отложений Мелекесской впадины и Татарского свода / Под ред. В.И. Тропопольского, Н.П. Лебедева. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1982. – 103 с.
3. *Хисамов Р.С., Шаргородский И.Е., Гатиятуллин Н.С.* Нефтебитумоносность пермских отложений Южно-Татарского свода и Мелекесской впадины. – Казань: ФЭн, 2009. – 431 с.
4. *Муслимов Р.Х., Романов Г.В., Каюкова Г.П. и др.* Комплексное освоение тяжелых нефтей и природных битумов пермской системы Республики Татарстан. – Казань: ФЭн, 2012. – 396 с.
5. *Каюкова Г.П., Петров С.М., Успенский Б.В.* Свойства тяжелых нефтей и битумов пермских отложений Татарстана в природных и техногенных процессах. – М.: ГЕОС, 2015. – 343 с.
6. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. – М.: Мир, 1976. – 534 с.
7. *Фролов В.Т.* Литология. Кн. 2. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 432 с.
8. *Mullakaev A., Dusmanov E., Khassanov R.* Formation conditions of the permian bitumen-containing sediments in the east of the East European platform (Russia) // Abstract of the 31th IAS Meeting of Sedimentology (Krakow, Poland. 22th – 25th June 2015). – Krakow, Poland: IAS, 2015. – P. 362.
9. *Сементовский Ю.В.* Условия образования месторождений минерального сырья в позднепермскую эпоху на востоке Русской платформы. – Казань: Тат. кн. изд-во, 1973. – 256 с.
10. *Khasanov R., Mullakaev A.* Paleogeographic factors of the formation of Permian reservoir rocks of bitumen deposits in the east of the Russian plate (Russia) // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2016. – V. 1. – P. 469–474. – doi: 10.5593/SGEM2016/B11/S01.059.
11. *Сахибгареев Р.С.* Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. – Л.: Недра, 1989. – 260 с.
12. *Рыбальченко В.В., Хабибуллин Д.Я., Петухов А.Ю., Давыдов А.В., Хоштария В.Н., Дмитриев С.Е., Хлановская С.Н., Исламов А.Ф., Егоров С.С., Тухтаев Р.И., Хасанов Р.Р.* Седиментологический анализ скважинных данных на примере дагинского горизонта северо-восточного шельфа острова Сахалин // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 1. – С. 55–74.
13. *Хасанов Р.Р., Галеев А.А.* Эволюция сингенетического органического вещества в палеозойских отложениях центральной части Волго-Уральской антеклизы // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Т. 150, кн. 3. – С. 152–161.

Поступила в редакцию
20.01.17

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

Муллагаев Алмаз Ильясович, аспирант, ассистент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых

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

Дусманов Евгений Николаевич, геолог

Татарское геологоразведочное управление ПАО «Татнефть»
ул. Чернышевского, д. 23/25, г. Казань, 420111, Россия
E-mail: *evgeny.dusmanov@gmail.com*

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2017, vol. 159, no. 1, pp. 164–173

**The Structure of Sandstones in Productive Horizons
of the Permian Bituminous Deposits of Tatarstan (Russia)**

R.R. Khasanov^{a}, A.I. Mullakaev^{a**}, E.N. Dusmanov^{b***}*

^a*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

^b*Tatar Geology and Prospecting Administration, PAO Tatneft, Kazan, 420111 Russia*

E-mail: ^{*}*Rinat.Khasanov@kpfu.ru*, ^{**}*almazmullakaev@gmail.com*,
^{***}*evgeny.dusmanov@gmail.com*

Received January 20, 2017

Abstract

The features of sandstones in productive horizons of the Permian bituminous deposits of Tatarstan (Russia) have been considered. The composition and internal structure of sandstones have been studied by optical microscopy, electron paramagnetic resonance (EPR), and electron microscopy, as well as using a number of physical and chemical methods to solve special problems. The investigated sandstones belong to the greywacke group. The clastic material of sandstones contains grains of feldspar, quartz, mica, and particles of volcanic rocks. The nature and composition of cement are important parameters that determine the filtration-capacity properties of sedimentary rocks. Bituminous deposits are characterized by vertical zoning, which is expressed in the alternation of sites with varying degrees of cementation of rocks. Attention has been also paid to post-sedimentation processes, such as pyritization and calcification. Pyrite forms rare xenomorphic isometric grains. The formation of pyrite occurs in diagenesis and is associated with the processes of biogenic sulfate reduction. The source of calcium for the crystallization of dispersed calcite in the porous space of sandstones is the underground waters of red-colored Ufimian deposits characterized by the alkaline properties favorable for calcium migration. According to the data of X-ray computed tomography, the internal space of the studied rocks is not homogeneous and represented by a system of communicated and isolated pores. In the studied samples, two types of organic matter differing in organic radicals have been detected. The first type is an organic substance of coal origin. The second type of organic matter belongs to the oil origin and refers to bitumens in its properties. The presence of a significant percentage of asphaltene in the bitumen composition indicates the destruction of the oil substance in the near-surface conditions.

Keywords: bitumens, sands and sandstones, mineral composition, reservoir properties, structure

Acknowledgments. This study was funded by the subsidy allocated to Kazan Federal University as part of the state program for increasing its competitiveness among the world's leading centers of science and education.

Figure Captions

Fig. 1. Greywacke sandstone: on the left – single nicol; on the right – crossed nicols.

Fig. 2. Carbonaceous cement: on the left – single nicol; on the right – crossed nicols.

Fig. 3. Filling of the empty-pore space of sandstones with mineral substance: *a* – clay minerals, *b* – diagenetic pyrite framboids.

Fig. 4. Visual description of the empty-pore space in bituminous sandstone based on data of computer tomography: on the left – two-dimensional image (mineral grains are shown with gray and white colors), on the right – three-dimensional image (mineral matrix is light gray, pores are gray and dark gray).

References

1. Methodical Guidance on Prospecting, Evaluation, and Exploration of Deposits of Solid Non-Metallic Minerals of the Republic of Tatarstan (In 3 Parts). Part 1. Khairetdinov F.M., Faizullin R.M. (Eds.). Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1999. 256 p. (In Russian)
2. Productive Bituminous Strata of the Permian Deposits of the Melekess Depression and the Tatar Arch. Troepol'skii V.I., Lebedev N.P. (Eds.). Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1982. 103 p. (In Russian)
3. Khisamov R.S., Shargorodskii I.E., Gatiyatullin N.S. Petroleum Bitumen Content of the Permian Deposits of the South Tatar Arch and the Melekess Depression. Kazan, Fen, 2009. 431 p. (In Russian)
4. Muslimov R.Kh., Romanov G.V., Kayukova G.P., et al. Integrated Development of Heavy Oils and Natural Bitumens of the Permian System of the Republic of Tatarstan. Kazan, Fen, 2012. 396 p. (In Russian)
5. Kayukova G.P., Petrov S.M., Uspenskii B.V. Properties of Heavy Oils and Bitumens of the Permian Deposits of Tatarstan in Natural and Technogenic Processes. Moscow, GEOS, 2015. 343p. (In Russian)
6. Pettijohn F.J., Potter P., Siever R. Sand and Sandstone. New York, Springer, 1972. 618 p. doi: 10.1007/978-1-4615-9974-6.
7. Frolov V.T. Lithology. Book 2. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 1993. 432 p. (In Russian)
8. Mullakaev A., Dusmanov E., Khasanov R. Formation conditions of the permian bitumen-containing sediments in the east of the East European platform (Russia). *Abstr. 31th IAS Meeting of Sedimentology (Krakow, Poland. 22th – 25th June 2015)*. Krakow, IAS, 2015, p. 362.
9. Sementovskii Yu.V. Conditions for the Formation of Deposits of Mineral Raw Materials in the Late Permian Era in the East of the Russian Platform. Kazan, Tatar. Kn. Izd., 1973. 256 p. (In Russian)
10. Khasanov R., Mullakaev A. Paleogeographic factors of the formation of Permian reservoir rocks of bitumen deposits in the east of the Russian plate (Russia). *Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2016, vol. 1, pp. 469–474. doi: 10.5593/SGEM2016/B11/S01.059.
11. Sakhigareev R.S. Secondary Changes in Reservoirs during the Formation and Destruction of Oil Deposits. Leningrad, Nedra, 1989. 260 p. (In Russian)
12. Rybal'chenko V.V., Khabibullin D.Ya., Petukhov A.Yu., Davydov A.V., Khoshtariya V.N., Dmitriev S.E., Khlanovskaya S.N., Islamov A.F., Egorov S.S., Tukhtaev R.I., Khasanov R.R. Sedimentological analysis of well data by the example of the Dragi horizon of the northeastern shelf of Sakhalin Island. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 1, pp. 55–74. (In Russian)
13. Khasanov R.R., Galeev A.A. The evolution of syngenetic organic matter in Paleozoic deposits in the central part of the Volga-Ural anteclize. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2008, vol. 150, no. 3, pp. 152–161. (In Russian)

Для цитирования: 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.

For citation: 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)