

УДК 551.25

ЭТАПНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕСЧАНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ТУЛЬСКО-БОБРИКОВСКОГО ВОЗРАСТА В ЭРОЗИОННЫХ ВРЕЗАХ НА ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА

Э.А. Королев

Аннотация

Изучены песчаники тульско-бобриковского возраста нижневизейского подъяруса, выполняющие эрозионные врезы в карбонатных отложениях турнейского яруса на территории Республики Татарстан в пределах центральной части Волго-Уральской антеклизы. Проведена поэтапная реконструкция их структурно-вещественных преобразований в процессе литогенеза. Установлены факторы, ответственные за формирование современного облика песчаников.

Ключевые слова: эрозионные врезы, тульско-бобриковский горизонт, песчаники, седиментация, коллекторы, водонефтяной флюид, нефть.

Эрозионные врезы визейского яруса на территории Волго-Уральской антеклизы являются широко распространенными структурными образованиями. По результатам буровых и сейсморазведочных работ они выявлены как на склонах Южно-Татарского свода, так и на восточном борту Мелекесской впадины. В рельефе поверхности турнейского яруса врезы представляют собой узкие (шириной 0,2–3 км) линейно вытянутые впадины протяженностью 30–40 км и более. Большинство из них имеет северо-западное и субмеридиональное простирание по направлению к осевым частям Усть-Черемшанского и Нижнекамского прогибов Камско-Кинельской системы. Среднее заглубление относительно кровли турнейского яруса составляет 25–30 м [1, 2].

При таких амплитудах размыва из состава турнейского яруса полностью исчезают кизеловские и черепетские отложения. Поэтому породы бобриковского терригенного комплекса часто залегают на денудационной поверхности упинского горизонта. В результате перестройки структурного плана территории центральной части Волго-Уральской антеклизы в пермское время отдельные участки развития эрозионных врезов оказались приурочены к сводам и крыльям сформировавшихся поднятий. Таким образом, на положительных структурах создались предпосылки для вертикальной миграции эрозионных флюидов. При этом врезы можно рассматривать в качестве «литологических окон». В период нефтенакпления через такие «окна» осуществлялась миграция углеводородсодержащих растворов, что привело к образованию в вышележащих породах башкирского и московского ярусов продуктивных нефтяных залежей. Участки эрозионных врезов, оказавшиеся приуроченными к положительным нефтеносным структурам,

также стали нефтеносными, образуя с вмещающими их карбонатными породами турнейского яруса единый нефтяной резервуар. Различные этапы геологического развития эрозионных врезов не могли не отразиться на структурно-вещественных характеристиках слагающих их пород. Учитывая это, в рамках настоящей статьи предпринята попытка поэтапной реконструкции событий, предшествовавших нынешнему состоянию нефтеносных песчаников.

Первый этап можно назвать «седиментационно-диагенетическим». В это время шло заполнение врезов отложениями фаций руслового аллювия, среди которых преобладали различные по размерности и степени сортировки песчаники. Мощность песчаной толщи могла составлять от 5.0 до 25.0 м в зависимости от пространственного положения участка палеовреза относительно базиса эрозии, существовавшего в визейское время. Часто среди песчаных пород встречаются небольшие по мощности (до 0.5 м) алевролитовые прослойки, положение которых в разрезах отражает периоды снижения гидродинамической активности в палеорусле.

Оптико-микроскопические исследования показали, что песчаники эрозионных врезов характеризуются практически мономинеральным составом. Они на 98–99% сложены кварцевыми зёрнами размером от 0.05–0.5 мм, на 1–2% – чешуйками мусковита, хлорита, тонкодисперсными зёрнами ортоклаза, реже альбита. В исходном, неизменном углеводородными флюидами, виде песчаники обладают светло-серой окраской, на фоне которой выделяются черные аргиллитовые линзочки и слои мощностью до 0.5 см. Обломки песчаной фракции в различной степени окатаны палеоруловыми потоками, по форме приближаясь к изометричному облику. При седиментации подобная форма структурных элементов создавала предпосылки к образованию зазоров между близкорасположенными обломочными зёрнами, следствием чего являлась относительно высокая пористость песчаных пород.

Ярко выраженные гумидные климатические условия, при которых формируются преимущественно слабоминерализованные пресные поверхностные и подземные воды, привели к отсутствию существенной синседиментационной и раннедиагенетической цементации рассматриваемых пород. Кварцевые зёрна в песчаниках удерживались в основном за счет сил механического сцепления, лишь в отдельных участках присутствовал глинистый цемент пятнисто-прожилкового типа.

На правомерность подобного утверждения указывают структурные особенности речных песчаников неогеновых врезов и уржумского яруса татарского отдела пермской системы, которые с момента образования находились в зоне гипергенеза. В них зёрна скрепляются за счет слабо развитого цемента контактового типа, большая часть порового пространства свободна от минерального выполнения.

В тульский век начался новый этап трансгрессивного развития существовавшего в то время эпиконтинентального морского бассейна. Песчаные палеоврезы оказались перекрытыми морскими терригенными глинисто-песчаными отложениями, при этом их поровое пространство, очевидно, было заполнено минерализованными морскими водами. В этих условиях обычно быстро достигается пересыщение растворов по кальциту, что приводит к карбонатной цементации пустотного пространства. Участие морских вод в образовании кальцита подтверждается результатами электронного парамагнитного резонанса. На ЭПР-спектрах

образцов тульско-бобриковских известковистых песчаниках отмечаются линии, принадлежащие ионам марганца, изоморфно замещающим кальций в кальцитовом цементе. Концентрация марганца, судя по ширине линий спектров ЭПР, составляет порядка 0.5–1.5%, что характерно для процесса карбонатообразования в прибрежно-морских обстановках. При последующем погружении пород на глубину до 900–1200 м цемент будет только перекристаллизовываться, участками корродируя кварцевые зерна. На реализацию подобного процесса указывает наличие в аналогичных по составу и структуре тульско-бобриковских песчаниках, находящихся вне зоны развития эрозионных врезов, яснозернистого кальцитового цемента базального типа, который фрагментарно разъедает края кварцевых обломков (рис. 1).

Приобретенные на стадии погружения литологические особенности песчаных пород, вероятнее всего, просуществовали до прихода углеводородсодержащих флюидов. Твердый несжимающийся минеральный остов, устойчивый к внешним воздействиям среды, не способствовал дальнейшим преобразованиям структурных элементов пород. А медленная метаморфизация захороненных морских вод вплоть до замещения их хлоридно-натриевыми и хлоридно-кальциевыми рассолами с минерализацией 213.5–240.0 г/л, очевидно, оказалась не в состоянии сформировать собственную вторичную цементацию. Поэтому все структурно-вещественные отличия нефтеносных песчаников от вышеописанных можно трактовать как результат наложенного эпигенеза, обусловленного миграцией углеводородсодержащих растворов.

Наиболее явно выраженными следами восходящей миграции агрессивных растворов, очевидно, следует считать выщелачивание карбонатного цемента. В результате растворения цементирующей компоненты породы значительно улучшили свои коллекторские свойства и приобрели рыхлую структуру. В некоторых случаях песчаник настолько разуплотнен, что керн рассыпается при подъеме на поверхность. Именно наличие столь специфичной структуры на глубинах 900–1200 м, на наш взгляд, свидетельствует о выносе из песчаников существенной его части. В свою очередь, наличие у некоторых кварцевых зерен следов коррозии в виде зазубренных изъеденных краев указывает на карбонатный состав выщелоченной компоненты (рис. 2).

Взамен утраченного кальцитового цемента порода приобрела новый – кремнеземистый. В отличие от первичного, он не имеет широкого объемного распространения, чем в принципе и обусловлена низкая механическая прочность разуплотненных песчаников. Кремнеземистый цемент встречается лишь на контактах между близкорасположенными кварцевыми зернами. В зависимости от конфигурации соприкасающихся поверхностей аллотигенной компоненты цемент может быть точечным либо цементом прилегания. Первый возникает в точках касания выпуклых сторон рядом находящихся обломков, второй – в местах соприкосновения плотно прилегающих друг к другу боковых сторон зерен с выпукло-вогнутыми контактами конформного приспособления (рис. 3). Помимо рассмотренного контактового цемента аутигенный кремнезем в породах формирует регенерационные каемки вокруг кварцевых зерен, которые также приводят к срастанию близкорасположенных аллотигенных обломков.

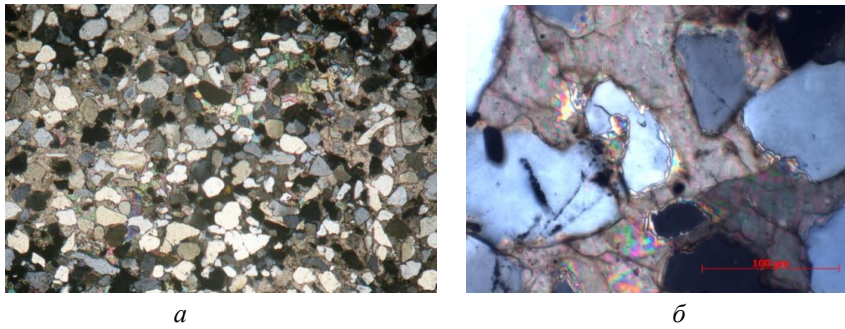


Рис. 1. Фото шлифа известковистого песчаника тульско-бобриковского горизонтов при увеличении 40х (а) и 90х (б)

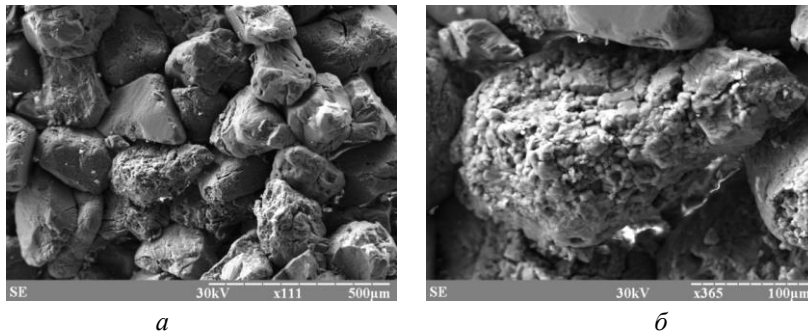


Рис. 2. Фото поверхности скола песчаника, выполняющего эрозионный врез: а – зерна кварца с коррозионной поверхностью; б – кварцевое зерно при большем увеличении

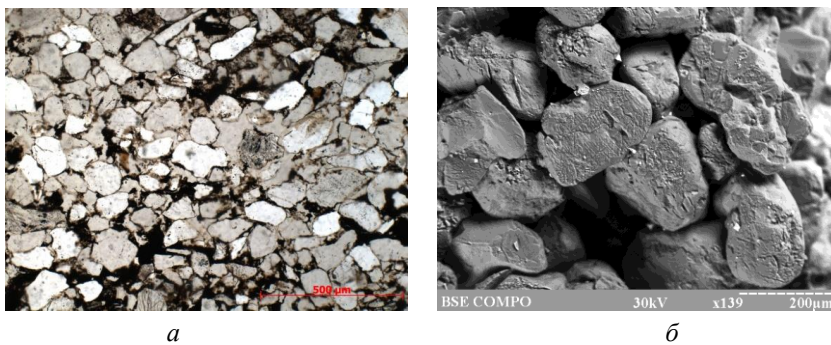


Рис. 3. Фото шлифа (а) и поверхности скола (б) нефтеносных песчаников эрозионных врезов с изображением различных контактов соприкосновения между кварцевыми зернами

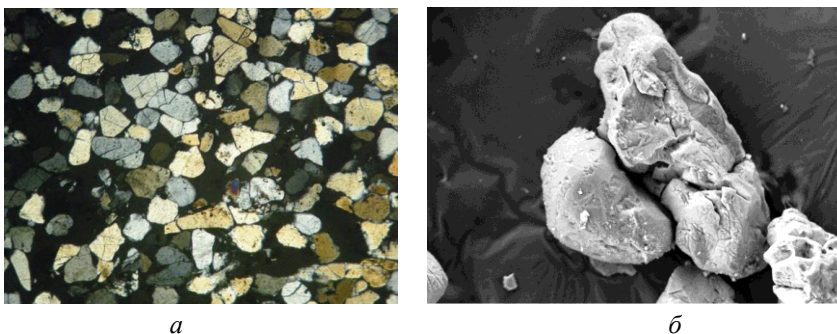


Рис. 4. Фото песчаников эрозионных врезов со следами хрупкой деформации: а – трещиноватые зерна кварца; б – зерна с вертикальными каналами миграции флюидов



Рис. 5. Фото поверхности спила керн из зоны ВНК эрозионного вреза: *a* – начальная стадия формирования без существенной карбонатной цементации; *б* – конечная стадия формирования с интенсивной кальцитовой цементацией

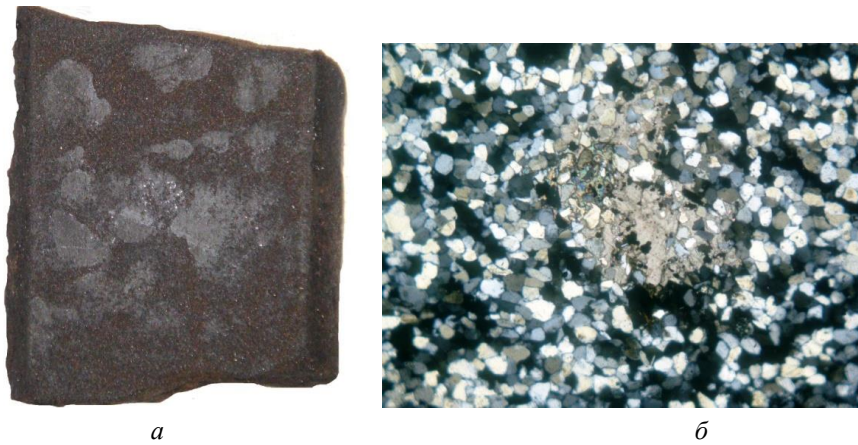


Рис. 6. Фото поверхности керн (*a*) и шлифа (*б*) битуминозного песчаника зоны ВНК с вкраплениями сгусткового кальцитового цемента

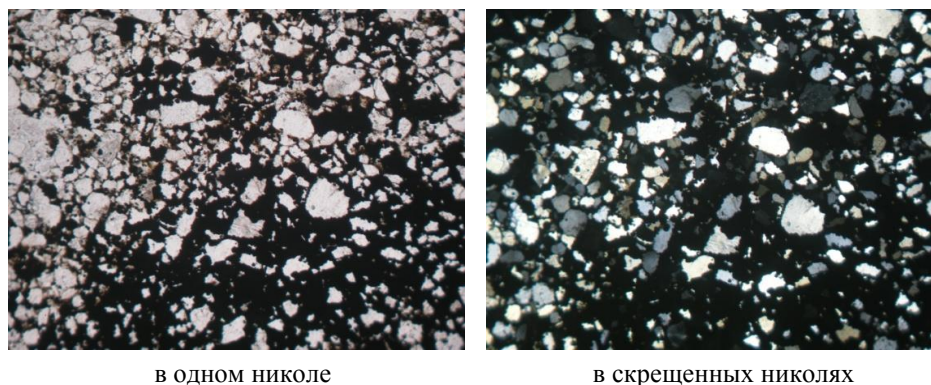


Рис. 7. Фото шлифа песчаника тульско-бобриковского горизонта, в котором вторичный пирит метасоматически замещает первичный кальцитовый цемента, попутно корродируя зерна кварца

Анализ шлифов показывает, что области развития контактов конформного приспособления и регенерационного роста кварцевых зерен являются своего рода «очагами» образования агрегатных сростков, вокруг которых впоследствии формируются крупные кластерные отдельности. Размер кластеров в значительной степени определяется кристаллографической ориентировкой близкорасположенных кварцевых обломков. При относительном совпадении определенных кристаллографических направлений вероятность срастания находящихся рядом зерен существенно повышается. Неслучайно в крупных кластерных сростках все индивиды имеют одинаковые или близкие углы погасания.

Процессы кластеризации нельзя назвать типичными только для песчаников эрозионных врезов. Они фиксируются в той или иной мере практически во всех песчаных слоях тульско-бобриковского возраста. Тем не менее прослеживается определенная тенденция увеличения плотности контактов срастания от пластовых тел тульских песчаников, залегающих между плотными аргиллитами вне эрозионных врезов, к бобриковским песчаникам эрозионных врезов. В пространственном отношении фиксируется также закономерное увеличение интенсивности кластеризации тульско-бобриковских псаммитовых пород от Мелекесской впадины к Южно-Татарскому своду. Последнее обстоятельство явно указывает на участие в процессах агрегации кварцевых зерен флюидных растворов, поскольку в этом же направлении увеличивается нефтеносность пород данного возраста и плотность регионального теплового потока [3].

На ряде нефтеносных структур зерна песчаников эрозионных врезов несут следы механической хрупкой деформации. Обычно они проявляются в виде частых, пересекающихся между собой внутризерновых трещинок, выполненных углеводородами (рис. 4). Как правило, зоны повышенной трещиноватости приурочены к активным разломам, вдоль которых происходили тектонические подвижки. Учитывая, что развитие речных долин (в том числе и палеодолин) осуществляется вдоль разломных зон, появление хрупкой деформации в песчаниках можно рассматривать в качестве геологического признака активизации древних разломов. Причем, судя по отсутствию следов регенерации в трещинках, активизация произошла сравнительно недавно по геологическому времени. Не исключено, что подобные подвижки в свое время способствовали приходу в эрозионные врезы агрессивных водонефтяных флюидов, ответственных за рассмотренные выше постдиагенетические преобразования песчаников.

При анализе состава терригенной компоненты врезов обращает на себя внимание факт отсутствия или незначительного содержания в песчаниках полевых шпатов. Хотя в глинистых алевролитах и аргиллитах тульско-бобриковского возраста обломков кислых плагиоклазов и калиевых полевых шпатов достаточно. Трудно представить ситуацию, при которой наиболее распространенные минералы не отлагались в песчаных породах и в то же время накапливались в находящихся рядом алевролитах и аргиллитах. Очевидно, в данном случае имел место процесс углекислотного растворения этих алюмосиликатов [4]. Нечто подобное в настоящее время отмечается в юрских нефтеносных песчаниках на месторождениях Западной Сибири.

Учитывая все вышесказанное, постседиментационное преобразование песчаников эрозионных врезов можно представить следующим образом. Пришедшие

углекислотные растворы, образующие фронтальную часть водонефтяных флюидов, последовательно снизу вверх стали выщелачивать кальцитовый цемент. При этом в области взаимодействия агрессивных флюидов с карбонатсодержащей породой периодически изменялись кислотно-щелочные характеристики среды. Кислые растворы, растворяя цемент песчаников, насыщались ионами Ca^{2+} , что приводило к их защелачиванию и повышению pH. В щелочной среде активизировался процесс растворения кварцевых зерен, часть вещества которых диффузионно мигрировала в области пониженных концентраций. При следующем закислении относительно подвижный в щелочной среде кремнезём выпадал из слабонасыщенных по нему растворов в зонах контактов кварцевых обломков, где создавались наиболее предпочтительные условия для зародышеобразования опал-халцедоновой фазы, либо встраивался в кристаллическую решетку кварца, образуя регенерационную каемку вокруг его зерен. Тот или иной механизм фиксации кремнезема, очевидно, определялся степенью насыщения порового раствора по опал-халцедону. В случае относительно низких концентраций кремниевой кислоты преобладала регенерация кварца, при более высоких – отложение самостоятельных кремнеземистых фаз на затравках. Возможно, выпадению опал-халцедона способствовало постоянное возобновление в среде ресурсов угольной кислоты, которая способствует кристаллизации минералов кремнезема.

Ниже фронта выщелачивания, по-видимому, шли процессы кислотного метасоматоза зерен полевых шпатов. Тонкодисперсные обломки кислых плагиоклазов и микроклина под действием угольной кислоты постепенно преобразовывались в каолинит, чешуйки которого, вероятно, выносились фильтрационным потоком к краям или кровле эрозионного вреза. В большинстве изученных песчаных коллекторов из полевых шпатов остался лишь наиболее устойчивый к кислотному разложению ортоклаз.

Таким образом, был сформирован высокопористый коллектор до прихода водонефтяных флюидов. Следует сказать, что восходящая миграция агрессивных растворов осуществлялась не сплошным фронтом, а в виде отдельных «языков внедрения». На это, в частности, указывают открытые вертикальные каналы растворения в песчаниках протяженностью от первых миллиметров до 2.0 см.

Выщелачивание на заключительной фазе сменилось этапом нефтенакопления. Возможно, эти процессы по времени частично накладывались друг на друга. Одновременное их протекание с самого начала вряд ли представляется возможным, поскольку эмульгированные углеводороды в этом случае, адсорбируясь на поверхностях твердых частичек, блокировали бы процессы выщелачивания карбонатного цемента и отложение кремнеземистых новообразований. В лучшем случае наблюдалось бы частичное растворение части цемента с сохранением кальцитовой оторочки вокруг кварцевых зерен, что, кстати, и наблюдается на ряде образцов керна.

Период нефтенакопления вряд ли мог сопровождаться какими-либо существенными изменениями минерального состава и структуры песчаных коллекторов эрозионных врез, так как известно, что углеводороды затормаживают химические реакции. Поэтому следующий этап преобразования песчаников,

очевидно, связан с процессами окисления различных производных нефтяного ряда в зонах водонефтяных контактов (ВНК).

Как следует из [5], процесс окисления нефти на ВНК сопровождается резкими колебаниями кислотности – щелочности в относительно узком пространственном интервале. Выделяющиеся и нейтрализующиеся органические кислоты и углекислый газ обуславливают периодичность смены условий, при которых одни и те же минералы растворяются и вновь кристаллизуются, образуя локальные зоны разуплотнения и цементации. Таким образом, появляется вторичная неоднородность пород-коллекторов, которая позволяет реконструировать динамику развития водонефтяной геофлюидной системы.

Анализ характера вторичных преобразований нефтеносных песчаников эрозионных врезов в зонах ВНК на различных брахиантиклинальных структурах указывает на существование нескольких вариаций динамических режимов водонефтяных флюидов, заполнявших терригенные коллекторы. Чаще всего в везейских врезках фиксируются следы водонефтяных флюидных систем, обладавших при заполнении ловушек нормальным или близким к таковому пластовым давлением. При разделении на нефть и воду между этими двумя несмешивающимися жидкостями образовывался четкий водонефтяной контакт, выдержанный по простиранию в пределах песчаного коллектора. Подобные участки весьма хорошо проявляются в кернах скважин по резкой смене темно-коричневой окраски нефтяной зоны на светло-серую окраску водоносной зоны (рис. 5).

После того как был сформирован ВНК, в подошвах нефтяных залежей начался процесс химической деградации углеводородов. В результате этого в верхней части водоносной зоны на границе с нефтью образовался возобновляемый источник углекислого газа и гидрокарбонат-ионов:



Появление HCO_3^- в хлоридно-кальциево-натриевых рассолах, с которыми пришли углеводороды, стало причиной выпадения вблизи ВНК слаборастворимых солей угольной кислоты. Аутигенный кальцит, заполняя поровое пространство песчаных коллекторов, образовывал сгустковый цемент, маркируя таким образом область диффузионного смешения гидрокарбонат-ионов с исходным раствором, содержащим ионы Ca^{2+} (рис. 6). Судя по узким (5.0–10.0 см) интервалам распространения кальцитового цемента, область смешения в большинстве случаев имела весьма ограниченную мощность.

Обращает на себя внимание морфологическая форма сгусткового цемента, который образует небольшие по размерам сферические (до 1.0 см), эллипсоидные (до 3.0 см) и линзовидно-прожилковые агрегаты (до 10.0×3.0 см), вытянутые параллельно ВНК нефтяных залежей. Подобные образования возникают, как правило, в условиях дефицита слагающих их химических элементов. Учитывая, что в современных подошвенных водах содержание ионов Ca^{2+} достигает 273.5 мг/дм³ (ранее их могло быть и больше, поскольку флюиды прошли карбонатные породы турнейского яруса), следует признать, что лимитирующей компонентой, контролирующей выпадение кальцита из раствора, являлся HCO_3^- .

Все кальцитовые агрегаты на ВНК характеризуются яснозернистой структурой, в одних случаях они сложены лишь несколькими сросшимися краями гигантскими (1.0–3.0 мм) монозернами, в других – многочисленными мелко-, средне- и крупнозернистыми ксеноморфными зернами, образующими плотные незакономерные сростки. Вариации размеров кальцитовых зерен в агрегатах, очевидно, отражают различия концентраций ионов Ca^{2+} и HCO_3^- в подошвенных водах нефтяных залежей. При незначительных концентрациях осуществлялся рост единичных кристаллов, выравставших до гигантозернистой размерности, при более высоких – зарождалось множество мелких кристаллов, растущих в условиях дефицита питающего раствора. Таким образом, структурные особенности кальцитовых агрегатов в какой-то мере указывают на интенсивность процесса окисления углеводородов, ответственных за поставку гидрокарбонат-ионов, лимитирующих реакцию кальцитообразования в системе.

Следующие этапы минералообразования в рассматриваемой системе связаны с активизацией биохимических процессов на ВНК. Появление и развитие сообществ анаэробных микроорганизмов, продуктом жизнедеятельности которых является сероводород, привело к развитию пиритовой минерализации [6, 7]. Пирит фиксируется как в самом нефтяном коллекторе, так и на водонефтяном контакте. В нефтеносных песчаниках пирит образует фрамбоидальные агрегаты размером до 0.25 мм, приуроченные к углисто-глинистым слойкам. Согласно работе [8], подобная морфологическая форма сульфидов железа указывает на их биогенное образование. По сути, фрамбоиды представляют собой замещенные колломорфным пиритом шаровидные микробиальные колонии.

На ВНК биогенный пирит метасоматически замещает ранее образованные кальцитовые агрегаты, постепенно наследуя их форму. Причем замещение начинается с зарождения группы фрамбоидов, которые, постепенно сливаясь друг с другом, разъедают карбонатный цемент. По мере укрупнения пиритовых агрегатов в них начинают идти процессы перекристаллизации с образованием пластинчатых кристаллов. При длительном развитии метасоматоза формируется крупный монокристалл с включениями реликтов изъеденных кварцевых зерен (рис. 7). Таким образом, в тульско-бобриковских песчаниках на заключительных этапах преобразования возникают прожилковые пиритовые обособления, маркирующие положения древних и современных ВНК.

Проведенный литолого-минералогический анализ показывает, что песчаные породы, выполняющие эрозионные врезы, последовательно испытали воздействие разнонаправленных процессов. В седиментационно-диагенетическую стадию происходили формирование минералогического остова и карбонатная цементация песчаников. Погружение в зону катагенеза сопровождалось лишь перераспределением цементирующего вещества, обусловившим перекристаллизацию кальцитовых зерен до яснозернистой размерности. Следующий этап преобразования, который можно назвать «флюидодинамическим», был связан с приходом и вертикальной миграцией элизионных флюидов. Агрессивные растворы выщелочили карбонатный цемент, «подготовив» песчаники к приходу углеводородов. Заключительный этап развития пород был обусловлен биохимическими процессами, возникающими на водонефтяных контактах. Изменение хи-

мизма среды способствовало активизации карбонатно-сульфидной минерализации и, как следствие, вторичной цементации песчаников. Учитывая механизмы и характер цементации, этот этап можно назвать «биокожно-метасоматическим».

Литература

1. *Смирнов В.Г.* Визейские и верейские эрозионные врезы – перспективные объекты на поиски залежей нефти и газа // Геология нефти и газа. – 1994. – № 7. – С. 21–29.
2. *Хасанов Р.Р., Ларочкина И.А.* Условия залегания и способы освоения нефтяных и угольных пластов в предвезейских депрессиях Волго-Уральской провинции // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 36–39.
3. *Христофорова Н.Н., Непримеров Н.Н., Христофоров А.В., Николаев А.В., Христофорова М.А.* Тепловой режим и оценка перспектив нефтегазоносности Приволжского региона // Георесурсы. – 2004. – № 21. – С. 24–33.
4. *Сахибгареев Р.С.* Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. – Л.: Недра, 1989. – 260 с.
5. *Афанасьев Ю.В., Цивинская Л.В.* Залежь углеводородов как самоорганизующаяся система // Геология нефти и газа. – 1999. – № 5–6. – С. 22–28.
6. *Карцев А.А.* Основы геохимии нефти и газа. – М.: Недра, 1978. – 279 с.
7. *Мехтиева В.Л.* Распространение микроорганизмов в пластовых водах Куйбышевского Поволжья и сопредельных районов // Геохимия. – 1962. – № 8. – С. 707–720.
8. *Kohn M., Lee R., Stakes D., Orange D.* Sulfur isotope variability in biogenic pyrite: reflections of the heterogeneous bacterial colonization // *Am. Mineral.* – 1998. – V. 83. – P. 1454–1468.

Поступила в редакцию
07.05.14

Королев Эдуард Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: Edik.Korolev@kpfu.ru

* * *

STAGES IN THE TRANSFORMATION OF SANDSTONE RESERVOIRS OF THE TULA AND BOBRIKOV HORIZON IN THE EROSIONAL INCISIONS OF TATARSTAN REPUBLIC

E.A. Korolev

Abstract

We researched the sandstones of the Tula and Bobrikov horizon of the Lower Visean substage. The sandstones form erosional incisions in the carbonate rocks of the Tournaisian stage in the Republic of Tatarstan within the central part of the Volga-Ural anticline. We carried out a staged reconstruction of their structural and mineral changes during lithogenesis. We also identified factors responsible for the formation of modern sandstones.

Keywords: erosional incisions, Tula and Bobrikov horizon, sandstones, sedimentation, reservoirs, water-oil fluid, petroleum.

References

1. Smirnov V.G. Visean and Vereiskian erosional incisions as promising objects in search of oil and gas deposits. *Geologiya nefii i gaza*, 1994, no. 7, pp. 21–29. (In Russian)
2. Khasanov R.R., Larochkina I.A. The mode of occurrence and ways of development of oil and coal beds in the Pre-Visean depression of the Volga-Ural province. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2013, no. 1, pp. 36–39. (In Russian)
3. Khristoforova N.N., Neprimerov N.N., Khristoforov A.V., Nikolaev A.V., Khristoforova M.A. Thermal conditions and oil-and-gas potential estimation of the Volga Region. *Georesursy*, 2004, no. 21, pp. 24–33. (In Russian)
4. Sakhbgariev R.S. Second Changes in Reservoirs during Formation and Destruction of Oil Deposits. Leningrad, Nedra, 1989. 260 p. (In Russian)
5. Afanas'ev Yu.V., Tsvinskaya L.V. Hydrocarbon reservoir as a self-organizing system. *Geologiya nefii i gaza*, 1999, nos. 5–6, pp. 22–28. (In Russian)
6. Kartsev A.A. Fundamentals of Petroleum Geochemistry. Moscow, Nedra, 1978. 279 p. (In Russian)
7. Mekhtieva V.L. Distribution of microorganisms in the produced water of the Kuibyshev Region and adjacent regions. *Geokhimiya*, 1962, no. 8, pp. 707–720. (In Russian)
8. Kohn M., Lee R., Stakes D., Orange D. Sulfur isotope variability in biogenic pyrite: reflections of the heterogeneous bacterial colonization. *Am. Mineral*, 1998, vol. 83, pp. 1454–1468.

Received
May 7, 2014

Korolev Eduard Anatolevich – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Department of General Geology and Hydrogeology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: Edik.Korolev@kpfu.ru