

УДК 551.7/.8

**ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ПУТЕЙ
МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ФЛЮИДОВ
В ЗОНЕ ВОЛЖСКОГО РАЗЛОМА НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Э.А. Королев, В.П. Морозов, Л.В. Леонова

Аннотация

В отложениях казанского и уржумского ярусов, приуроченных к зоне Волжского разлома, выявлены литогенетические маркеры путей миграции углеводородсодержащих флюидов. Располагаясь на трех стратиграфических уровнях, они отражают как стадийность развития флюидной системы, так и флюидный тип седиментогенеза в морском бассейне пермского возраста.

Ключевые слова: Волжский разлом, углеводородный флюид, микробиальные постройки, кремнистые конкреции, литогенез, миграция, травертины, генезис.

Введение

Согласно общепризнанной концепции формирование нефтяных месторождений происходит в результате направленной миграции водно-углеводородных флюидов под действием градиентов давлений, возникающих в процессе эволюции осадочных бассейнов [1]. Перемещение растворов осуществляется либо вдоль проницаемых пластов по направлению их воздымания, либо по региональным разломам, находящимся на путях движения фильтрационных потоков. В первом случае условия застойной гидрогеологической обстановки не способствуют дальности переноса углеводородов. Как правило, они концентрируются недалеко от нефтегенерирующих геоструктурных элементов (грабенов, впадин) с повышенным температурным полем, образуя залежи вдоль их границ. Во втором случае миграция флюидов прослеживается на большие расстояния. При этом часто возникают вертикальные перетоки с нижележащих стратиграфических уровней на вышележащие. Предполагается, что таким образом формируются эшелонированные нефтяные залежи, залегающие друг над другом.

Пути миграции водно-углеводородных флюидов обычно прослеживаются по битуминозным примазкам на стенках пор и трещин в горных породах или по геохимическим характеристикам нефтей в залежах. Однако, помимо очевидных следов, флюиды на путях своего движения могут оставлять и литогенетические маркеры. Подобные образования обычно имеют локальную область распространения и, как правило, выделяются своими структурно-вещественными особенностями, не характерными для вмещающих пород.

Результаты исследования

В пределах центральной части Волго-Уральской нефтяной провинции выделяются несколько крупных региональных разломов, находящихся на путях миграции углеводородов. Наиболее известными являются Камский и Волжский, разделяющие крупные структурно-тектонические элементы первого порядка. Из них по степени обнаженности коренных пермских отложений и доступности для их изучения предпочтителен Волжский региональный разлом.

В настоящей работе рассмотрен участок Волжского разлома в области южного сегмента Казанско-Кировского прогиба (рис. 1). Признаками фильтрации водно-углеводородных потоков по данному разлому являются битуминозные проявления в антиклинальных структурах III и IV порядков (Сюкеевская, Камско-Устьинская, Верхне-Услонская), пространственно приуроченных к рассматриваемой дизъюнктивной зоне. Учитывая, что наиболее интенсивная миграция углеводородов осуществлялась в период перестройки структурного плана Волго-Уральской антеклизы [2], логично предположить приуроченность возможных проявлений зон разгрузок катагенных флюидов к отложениям казанского и уржумского ярусов среднего отдела пермской системы.

В пределах Сюкеевской, Камско-Устьинской и Верхне-Услонской брахи-антиклинальных структур отложения видимой части казанского яруса представлены мелководно-морским осадочным комплексом. Переслаивание в разрезах различных структурных типов седиментационно-диагенетических доломитов, доломитовых мергелей и гипсов указывает на то, что в то время здесь развивался осолоняющаяся морская бассейн осадконакопления. Отложения уржумского яруса, напротив, представлены терригенным континентальным комплексом, в составе которого переслаиваются красноцветные мергели, глины, алевролиты и песчаники. В то время на рассматриваемой территории существовала обширная аккумулятивная равнина, где накапливался сносимый с Уральских гор обломочный материал.

В пределах вышеназванных осадочных и осадочно-диагенетических отложений по литогенетическим маркерам выделяются три событийных уровня, каждый из которых приурочен к определенному литолого-стратиграфическому интервалу.

Наиболее ранний уровень отмечается в осадочно-диагенетических микрозернистых доломитах печищинских слоев верхнеказанского подъяруса. Здесь следы подводных высачиваний фиксируются в виде скульптурных обособлений, формой напоминающих конусовидные пирамидки, веретенообразные постройки, круглые или овальные кольца (рис. 2). Диаметр обособлений не превышает 10 см при высоте от 1 до 5 см. Для всех выявленных морфологических форм характерно наличие одного или нескольких концентрических валиков, расположенных вокруг выпуклой полусферы или сквозного канала. В последнем случае ближайший к каналу валик с поверхности прорезан бороздами, похожими на следы от растекающегося по нему раствора.

Состав рассматриваемых обособлений кремнистый или аналогичен составу вмещающих пород. Несмотря на кажущуюся их слитность с доломитами, они все же представляют собой обособленные тела, обладающие четкими внешними границами. Поэтому при механических сколах пород по напластованию на их

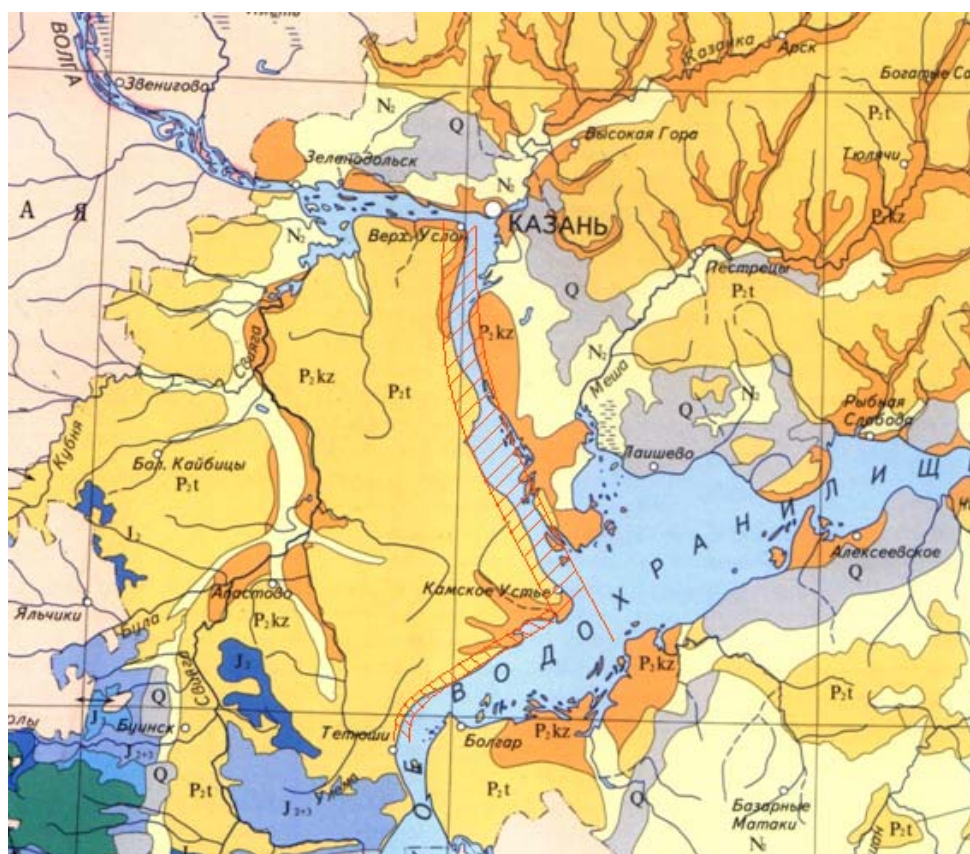


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Республики Татарстан (красной штриховкой выделен участок исследований)

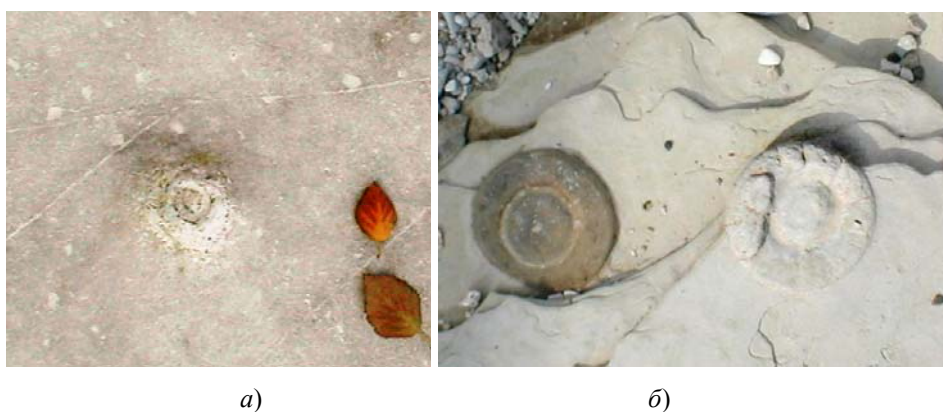


Рис. 2. Фото кремнистого (а) и доломитовых (б) обособлений в породе

поверхностях хорошо проявляется рельеф этих образований. Характер расположения скульптурных обособлений в биохомогенных доломитах и особенности их взаимоотношения ясно указывают на сингенетичность этих образований с вмещающими породами.

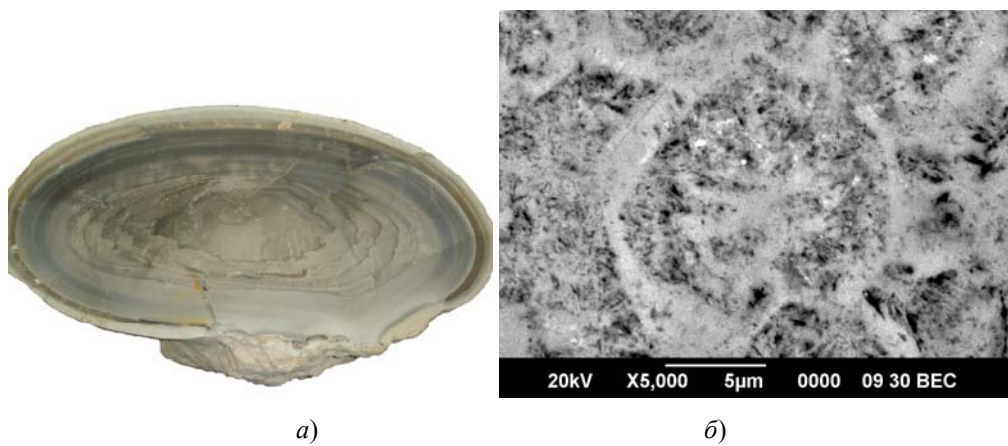


Рис. 3. Фото бокового среза кремнистой конкреции (а) и ее шлифованной поверхности, на которой проявлена глобулярная структура (б)



Рис. 4. Фото кремнистых конкреций с включениями нефти (из музейной коллекции Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ): а – из отложений Камско-Устьинской структуры; б – из отложений Суюевской структуры



Рис. 5. Фото скоплений глыб известкового туфа вдоль береговой линии реки Волги (а) и отдельного агрегата со сквозным трубчатым каналом (б)

Анализ современных форм рельефа, образующихся при подводных высачиваниях подземных растворов со дна водоемов, показывает их схожесть с обособлениями верхнеказанского яруса. Так, скульптурные тела в виде концентрических валиков, окружающих выпуклые полусферы, по своему облику полностью соответствуют морфологическим образованиям на месте выходов грифонов. Конусовидные пирамидки со сквозным каналом напоминают строматолитовые постройки над газлирующими источниками. Поэтому можно считать, что обособления в доломитовых породах маркируют места выходов на дне Казанского палеоморя подземных флюидов.

Морфологические формы выявленных тел позволяют с большой долей вероятности предположить их биохеогенную природу, поскольку подобные строения весьма типичны для колоний цианобионтов. Учитывая высокую скорость прижизненной минерализации бактерий при формировании микробильных построек [3] логично рассчитывать на обнаружение в скульптурных телах высокого содержания захороненного органического вещества. Поэтому все обособления были исследованы методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) на предмет наличия в них рассеянной белковой органики, захваченной в процессе фоссилизации бактерий.

В исходном состоянии исследуемые образцы характеризуются наличием относительно высоких концентраций радиационных центров SO_2^- , SO_3^- . Органический радикал на спектрах практически не выражен. Лишь после предварительного прогрева образцов при 600°C во всех случаях на спектрах появлялись одиночные симметричные линии с параметрами $\Delta H \sim 1 \div 3$ Гс, $g = 2.0027 \pm 0.0001$. Согласно работам [4] сигнал с такими параметрами характерен для углеродных радикалов (Rc-org) бактериального происхождения, которые находятся в тесной ассоциации с минеральной матрицей. Его наличие свидетельствует о высокой биологической активности в период формирования исследуемых обособлений. Следует сказать, что аналогичный сигнал Rc-org фиксируется и во вмещающей доломитовой породе. Однако его интенсивность существенно ниже по сравнению с телами биолитов. Все эти данные однозначно указывают на ведущую роль карбонат-отлагающих микробиотических сообществ в процессе формирования рассматриваемых обособлений верхнеказанского подъяруса.

Учитывая, что для концентрирования колоний и увеличения их биомассы, а следовательно, и формирования биолитов необходимо наличие возобновляемых ресурсов питательного вещества, можно предположить, что в составе восходящих источников присутствовали биогенные элементы. В данной палеогеологической обстановке наиболее вероятными пищевыми ресурсами являлись легкие углеводородные газы и их производные, поскольку в этот период времени шла региональная миграция углеводородсодержащих флюидов [5].

Второй по времени событийный уровень отмечается в микрозернистых доломитах верхнеуслонских слоев верхнеказанского подъяруса в пределах Камско-Устьинской и Сюкеевской брахиантиклинальных структур. Здесь фиксируются диагенетические кремнистые конкреции, часть из которых содержит захваченные в процессе своего формирования включения водно-углеводородных флюидов. В толщах пород рассматриваемые обособления распространены на локальных участках по латерали, в плане образуя «поля» протяженностью

до 3 км. В общей сложности наблюдаются три гипсометрических уровня развития диагенетических агрегатов, находящихся друг над другом.

Конкреции представлены преимущественно овалоидами размером в диаметре до 30 см при толщине в центре до 10 см. Они характеризуются относительно ровным плоским основанием и выпуклой полусферической поверхностью. Все конкреции обладают концентрически-зональным строением, которое обусловлено чередованием светло- и темно-серых концентрических слоев (рис. 3, *а*). Темные слои полностью сложены микрозернистым халцедоном, светлые – халцедоном или опалом с включениями неизмененного доломита. Часть конкреций помимо собственной концентрической зональности содержит горизонтальные слои, унаследованные от исходной доломитовой породы. Как правило, они согласуются со слоистостью, прослеживающейся во вмещающих доломитах.

По результатам оптико-микроскопических исследований темно-серые концентрические зоны конкреций имеют глобулярную структуру, характерную для биохомогенных агрегатов, образующихся при непосредственном участии микробиальных сообществ (рис. 3, *б*). Их отличием от чисто хомогенных глобуль, возникающих при раскристаллизации кремнеземистого геля, являются отсутствие концентрической микрозональности, наличие микропустот, расходящихся радиально от центра; плотная кремнеземистая оторочка, ограничивающая колонии микроорганизмов. Проведенные ЭПР-исследования показали относительно высокое содержание в конкрециях органического радикала, свойственного белковому веществу. В совокупности с биогенной микроструктурой это позволяет рассматривать кремнистые агрегаты как биолиты, маркирующие области развития микробиальных сообществ [6].

Единичные кремнистые конкреции содержат полости, заполненные водно-нефтяным флюидом (рис. 4). Размер полостей варьирует от 1 до 3 см. В одних случаях стенки пустот ровные сглаженные, в других – осложнены столбчатыми наростами халцедона. Флюидные включения находятся под давлением, поэтому при раскалывании конкреций нефть и вода расплескиваются, оставляя на месте своего заключения темно-коричневые углеводородные примазки. По периферии захваченных водно-нефтяных растворов в кремнистых конкрециях развиты микровключения пирита, реже кальцита. Подобное концентрирование вышеназванных аутигенных минералов, по-видимому, обусловлено процессами начальной биохимической деструкции углеводородов, сопровождаемыми выделением сероводорода и углекислоты.

По результатам ЭПР-исследований нефть, заключенная в конкрециях, по своим характеристикам аналогична девонской нефти, добываемой на территории Татарстана. И те и другие содержат хорошо выраженный ванадиловый радикал, типичный для нефтей Волго-Уральской нефтяной провинции [7]. Учитывая данный факт, логично предположить генетическую общность водно-углеводородных флюидов рассматриваемых объектов.

Заключительный событийный уровень отмечается в континентальных отложениях уржумского яруса. Наиболее наглядно он проявлен в пределах Сюкеевской брахиантиклинальной структуры. Здесь среди красноцветных мергелисто-глинистых толщ залегают известковые туфы, по времени образования сингенетичные с вмещающими породами. Травертины образуют либо единичные

относительно крупные тела диаметром до 2 м при мощности 0.5–1.0 м, либо локальные площадные поля, прослеживающиеся до 60 м по латерали. Последние обычно хорошо выявляются по скоплению глыб известкового туфа вдоль береговой линии реки Волги, размывающей коренные породы уржумского яруса (рис. 5).

Все травертиновые глыбы характеризуются светло-серой окраской с бежевым оттенком, обусловленным механическими включениями оксидов и гидроксидов железа, пелитоморфной структурой и ажурно-сетчатой текстурой. Последнюю создают причудливо переплетающиеся полые кальцитовые трубочки диаметром до 2 мм. В местах схождения нескольких трубочек образуются более крупные поры неправильной формы. В относительно крупных глыбах известкового туфа можно наблюдать сквозные вертикальные трубчатые каналы диаметром до 10 см с ровными, пористыми стенками. По-видимому, они маркируют основные пути, по которым разгружались восходящие водно-углекислые растворы.

По данным рентгенографического анализа известковые туфы большей частью сложены кальцитом. В качестве второстепенных минералов фиксируются кварц, альбит, микроклин, мусковит и доломит. Электронно-микроскопические исследования показали, что эти минеральные фазы представляют собой механическую примесь, захваченную травертинами в процессе своего образования.

Обсуждение результатов

Рассмотренные литогенетические образования, разобщенные по стратиграфическим подразделениям, но пространственно приуроченные к одной разломной зоне, являются своеобразными маркерами очагов разгрузки эволюционирующих во времени углеводородсодержащих флюидов. Учитывая вертикальную структурно-вещественную зональность аутигенных агрегатов, можно предположить, как менялся основной компонентный состав растворов.

На первых этапах по Волжскому разлому, очевидно, шла миграция водно-углекислых флюидов с примесью углеводородов. Разгружаясь в придонной части осолоняющегося Казанского палеоморя, они в местах выходов распресняли воды и поставляли питательные элементы, создавая предпосылки для развития микробиальных сообществ и осаждения кремнезема (рис. 6). За счет этого вокруг сипингов образовались доломитовые, доломит-кремнистые и кремнистые обособления. Минеральный состав бактериальных образований, очевидно, отражал физико-химические особенности восходящих фильтратов.

Биолиты, сложенные микрозернистым доломитом, образовались вокруг слабоактивных зон придонных разгрузок. Их состав, мало отличающийся от вмещающих пород, с одной стороны, указывает на обедненность восходящего раствора минеральными компонентами, с другой – на незначительную интенсивность высачивания, а с третьей – на его относительно небольшую температуру, сопоставимую с палеотемпературами воды в осолоняющемся бассейне. Первое и второе утверждения основываются на отсутствии посторонних минеральных включений в биолитах. В случае привноса каких-либо водорастворимых веществ колонии цианобионтов осаждали бы их, при формировании своей постройки, в случае высокой скорости фильтрации придонного источника происходило бы

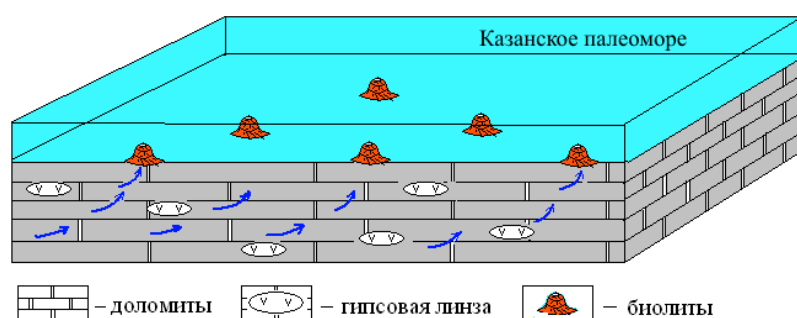


Рис. 6. Схема формирования литогенетических маркеров I этапа развития приразломной геофлюидной системы

локальное разубоживание концентрации морской воды с образованием известковых биоминеральных образований. Третье утверждение основано на отсутствии в постройках и вблизи них сульфатных минералов. Дело в том, что образование доломитовых пород осуществлялось фактически в солеродном бассейне, который находился на стадии осаждения сульфатных отложений, подтверждением чему являются многочисленные гипсовые линзы. Поэтому вблизи источников с повышенной температурой происходило бы образование ангидритовых линз. В нашем случае этого не наблюдается, наоборот, отмечается обратная зависимость, то есть где есть постройки, там нет гипсовых линз, что говорит в пользу низкотемпературного высачивания.

Биолиты, сложенные кремнеземистым и доломит-кремнеземистым материалом, по всей видимости, образовались вокруг выходов более минерализованных растворов. Судя по составу микробиальных построек, доминирующими элементами сипов были кремнезем и карбонат-, гидрокарбонат-ионы (CO_3^{2-} , HCO_3^-). Совместное их сосуществование указывает на щелочность флюидов, способствовавшую переводу Si в миграционно-способную форму. При выходе на поверхность за счет понижения pH среды кремнезем выпадал из растворов, участвуя в формировании тел биолитов.

Исследования с помощью электронной микроскопии показали, что в микробиальных постройках кремнезем встречается в виде кварцевых кристаллов и их незакономерных сростков, реже – в виде остатков диатомовых водорослей (рис. 7). Большая часть кристаллов характеризуется наличием хорошо выраженных габитусных элементов, из которых преобладающими являются грани псевдогексагональной призмы и ромбоэдров, часто встречаются двувршинники. Подобная морфология указывает на существование стационарных условий среды, обеспечивающей равномерный подток минерального вещества к растущим зернам кварца в вязком обводненном илистом осадке.

Особенностями обладают и доломиты, слагающие остовы биолитов. Так, аутигенные зерна микробиальных построек, в отличие от вмещающих седиментационно-диагенетических доломитов, характеризуются более неупорядоченным расположением в агрегатах, большим количеством ростовых дефектов и проявлением следов коррозии, а также наличием микровключений цианобионтов (рис. 8). Все эти признаки свидетельствуют, с одной стороны, о более высокой скорости процессов образования доломитовых зерен микробиальных построек

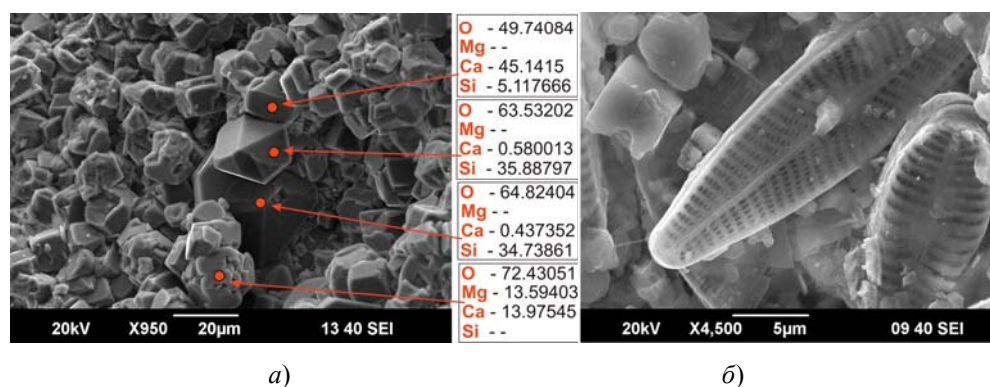


Рис. 7. Фото поверхности сколов кремнеземистых биолитов: *а* – кристаллы кварца с развитыми габитусными элементами; *б* – диатомовые водоросли

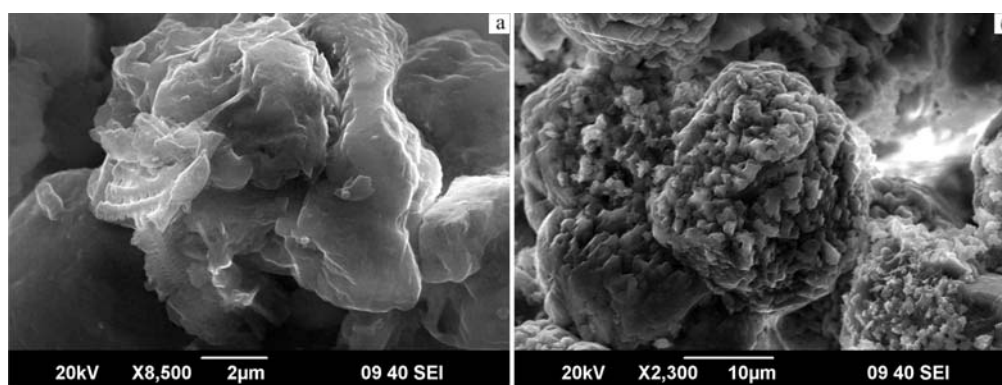


Рис. 8. Фото поверхности скола доломит-кремнеземистых биолитов: *а* – зерно доломита с микровключениями цианобионтов; *б* – зерна со следами коррозии

по сравнению с доломитом вмещающей породы, с другой – об участии в процессе осаждения вещества микробиальных сообществ, а с третьей – о вариациях внутри построек степени кислотности-щелочности среды. Последняя могла быть обусловлена изменениями соотношения CO_3^{2-} и HCO_3^- в холодноводных сипах.

На втором этапе развития флюидной системы первичный водно-углекислый раствор сменился на существенно водно-углеводородный. Высачиваясь на поверхность со дна Казанского палеоморя, глубинные флюиды, по-видимому, пропитывали доломитовые илы, находящиеся на стадии литификации. Образовавшиеся в то время диагенетические кремнистые конкреции захватывали газово-жидкие компоненты, сохраняя таким образом реликты мигрировавшей нефти от последующего биохимического разложения (рис. 9).

Процесс формирования кремнистых конкреций занимает весьма протяженный период времени. Поэтому чтобы захватить флюидные включения, им необходим длительный срок пребывания в нефтесодержащей породе. Исходя из этого, очевидно, что доломитовые породы, содержащие конкреции кремней, ранее являлись нефтеносными. При этом, судя по отсутствию геологических признаков, присущих нефтяным залежам (отсутствие кавернозности, зон цементации и своеобразной аутигенной минерализации, свойственной зоне водонефтяных контактов),

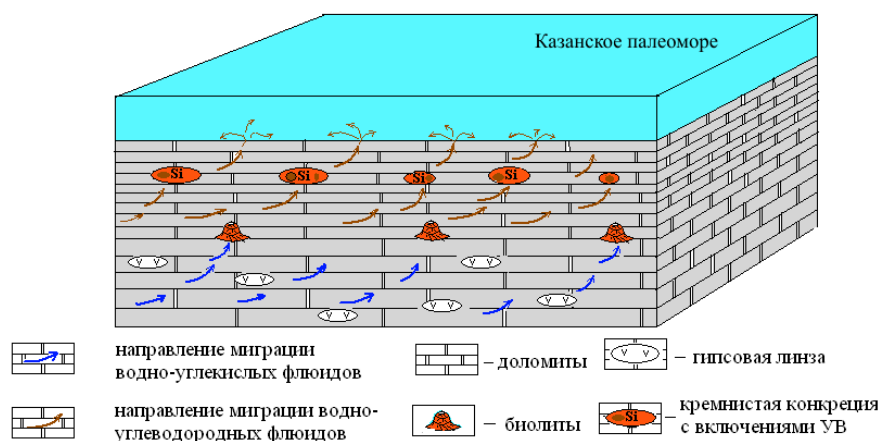


Рис. 9. Схема формирования литогенетических маркеров II этапа развития приразломной геофлюидной системы

можно с большой степенью вероятности предположить, что углеводороды только проходили через доломиты, не образуя скоплений. По-видимому, разгрузка водно-углеводородных флюидов осуществлялась в виде рассеянных высачиваний в придонной части Казанского палеоморя. Приток углеводородов, являющихся пищевым ресурсом для многих микроорганизмов, вполне мог стимулировать развитие в доломитах микробиальных колоний, способных фиксировать кремнезем. В процессе образования часть кремнистых агрегатов захватывала нефтяные включения, сохранившиеся до настоящего времени. Судя по низкой степени деградации нефти, формирование конкреций завершилось до начала окисления углеводородов.

Следует сказать, что это была лишь первая волна мигрировавших водно-углеводородных флюидов. Последующие аналогичные по составу растворы приходили еще раз, когда уже были сформированы глинисто-карбонатные отложения переходной пачки в верхах казанского яруса. Являясь флюидоупорами, эти породы способствовали накоплению под ними маломощных нефтяных залежей. Реликты заключительной стадии внедрения углеводородных эманаций в настоящее время отмечаются как в пределах Камско-Устьинской, так и Сюкеевской брахиантиклинальных структурах в виде битуминозных пластов.

На третьем этапе развития флюидной приразломной системы, проявившейся в уржумский век, состав растворов вновь сменился на водно-углекислый. По-видимому, в то время шли процессы биохимического окисления ранее сформированных нефтяных залежей, сопровождающиеся появлением в растворах углекислого газа. Повышение пластовых давлений приводило к локальным прорывам пород-покрышек и, как следствие, к проникновению углекислых вод в вышележащие карбонатно-глинистые породы (рис. 10).

В одних случаях агрессивные растворы не доходили до поверхности и, израсходовав весь кислотный потенциал, формировали травертиноподобные карбонатные штоки, секущие доломиты и доломитовые мергели над битумными залежами [8]. В других – флюиды поднимались к поверхности Земли, где и происходила их разгрузка в виде небольших малодебитных источников. В местах

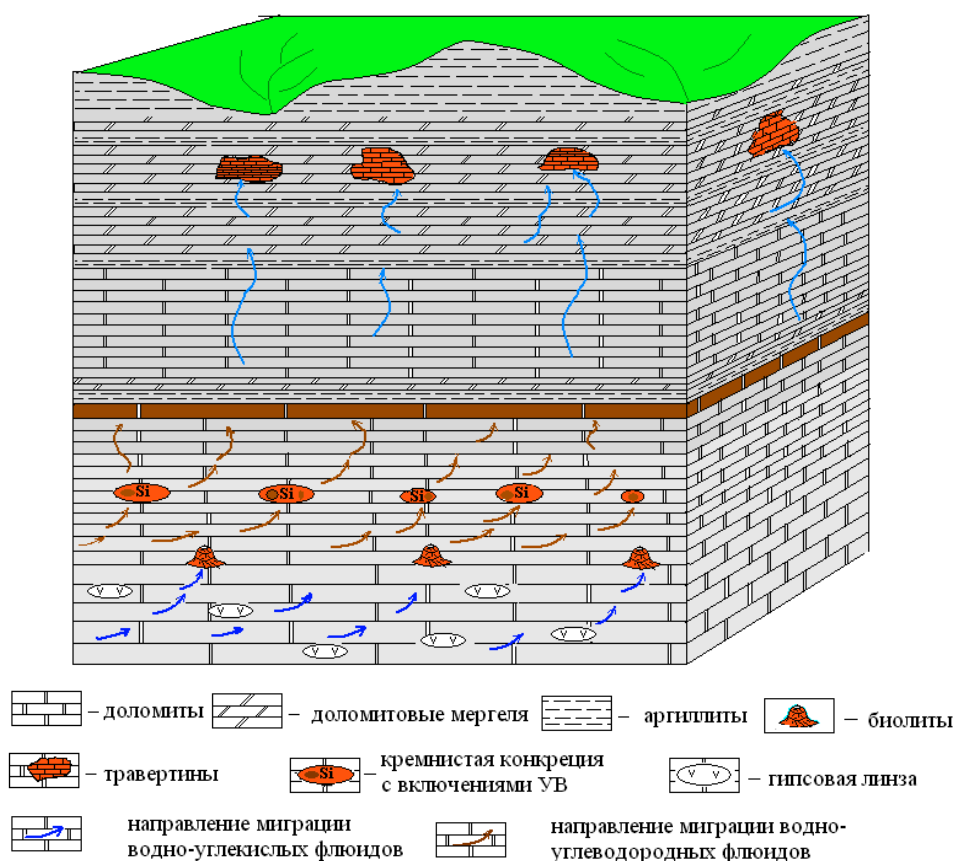


Рис. 10. Схема формирования литогенетических маркеров III этапа развития приразломной геофлюидной системы

излияния в результате резкой потери углекислого газа наступало пересыщение по кальциту, что и приводило к отложению травертиновых агрегатов. Непосредственно над местами разгрузки дегазирующих флюидов, внутри тел известковых туфов образовывались сквозные полые каналы, по которым шла восходящая фильтрация минерализованных растворов.

На основе изложенного можно сделать следующие выводы.

На рубеже казанского и уржумского ярусов в пределах Волжского разлома существовала приразломная водно-углеводородная геофлюидная система.

В эволюционном развитии флюидной системы четко выделяются три этапа, обусловленные изменением мигрирующих флюидов: водно-углекислый → водно-углеводородный → водно-углекислый.

Каждый этап активизации флюидной системы сопровождался образованием в сингенетичных с ним по времени отложениях различных литогенетических маркеров.

Появление литогенетических маркеров в одних случаях было обусловлено всплеском биологической активности микробных сообществ, в других — неравновесным состоянием флюидов с геологической средой.

Summary

E.A. Korolev, V.P. Morozov, L.V. Leonova. Lithological Indicators of Hydrocarbon Fluids Migration in the Volgian Fault Zone within the Republic of Tatarstan.

In the sediments of the Kazan and Urzhum stages associated with the Volgian fault zone, the lithological indicators of the migration paths of hydrocarbon fluids were revealed. These indicators were found at three stratigraphic levels and reflect both the phased nature of the fluid system development and the fluid type of sedimentogenesis in the Permian sea floor.

Key words: Volgian fault, hydrocarbon fluid, microbial buildups, siliceous nodules, lithogenesis, migration, travertines, genesis.

Литература

1. *Вассоевич Н.Б.* Теория осадочно-миграционного происхождения нефти // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1967. – № 11. – С. 135–156.
2. *Игнатьев В.И.* Формирование Волго-Уральской антеклизы в пермский период. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. – 256 с.
3. *Ушатинская Г.Т., Герасименко Л.М., Жегалло Е.А., Орлеанский В.К.* Роль бактерий в осаждении карбонатов, фосфатов и силикатов в природных условиях и в эксперименте // Междунар. раб. совещ. «Происхождение и эволюция биосферы»: Тез. докл. – Новосибирск, 2005. – С. 177–178.
4. *Муравьев Ф.А.* Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов РТ: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Казань, 2007. – 24 с.
5. *Тропольский В.И., Эллен С.С.* Геологическое строение и нефтеносность Аксубаево-Мелекесской депрессии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. – 658 с.
6. *Леонова Л.В., Галеев А.А., Королев Э.А.* Некоторые физические методы изучения проблематичных органических остатков // Литосфера. – 2009. – № 4 – С. 108–113.
7. *Булка Г.Р., Низамутдинов Н.М., Мухутдинова Н.Г., Винокуров В.М., Гатиятуллин Н.С., Успенский Б.В.* Ванадиеносность нефтей и битумов Татарии // Спектроскопия, кристаллохимия и реальная структура минералов и их аналогов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. – С. 110–118.
8. *Королев Э.А., Хузин И.А.* Штоковые зоны флюидного внедрения в отложениях верхнеказанского подъяруса над битумной залежью Сюкеевского месторождения (состав, строение, генезис) // Нефть. Газ. Инновации. – 2009. – № 9. – С. 24–27.

Поступила в редакцию
31.10.11

Королев Эдуард Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Edik.Korolev@ksu.ru

Морозов Владимир Петрович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой минералогии и литологии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Vladimir.Morozov@ksu.ru

Леонова Любовь Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

E-mail: ifleonova@yandex.ru