

ЕМКОСТНОЕ ПРОСТРАНСТВО ПОРОД ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ФОРМАЦИИ (на примере доманиковой толщи Южно-Татарского свода)

Т.А. Шарданова, Н.П. Фадеева, Р.А. Хамидуллин, А.Н. Хомяк
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Рассмотрены петрофизические, геохимические и литологические особенности строения пород доманиковой формации. Особое внимание уделено вопросам формирования пустотного пространства в пелитоморфных высокоуглеродистых отложениях депрессий. Для последних характерны низкие фильтрационно-емкостные свойства, повышенное содержание органического вещества и кремнисто-известковый состав. Выявлены седиментационные и постседиментационные факторы, влияющие на формирование пустот, заполненных микронепфью. Отмечается высокий генерационный потенциал пород, способных генерировать и отдавать жидкие углеводороды на ранних этапах катагенеза. Описано пустотное пространство в карбонатных комплексах мелководного генезиса, перекрывающих высокоуглеродистые отложения. Несмотря на нефте- и битумонасыщение рассмотренных пород, отмечен преимущественно миграционный характер УВ.

Ключевые слова: доманик, высокоуглеродистая формация, емкостное пространство

DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.13>

Для цитирования: Шарданова Т.А., Фадеева Н.П., Хамидуллин Р.А., Хомяк А.Н. Емкостное пространство пород высокоуглеродистой формации (на примере доманиковой толщи Южно-Татарского свода). *Георесурсы*. 2017. Спецвыпуск. Ч. 1. С. 125-132. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.13>

Введение

Одной из основных проблем, возникающей при изучении нефтяного потенциала высокоуглеродистых формаций (ВУФ), является проблема выделения коллекторов в разрезах скважин. По существу, для этих отложений задача поисков и разведки залежей нефти сводится к идентификации коллекторов в скважине и определения зон их развития в межскважинном пространстве. Эта проблема возникла в результате интенсивного изучения высокоуглеродистых формаций, первоначально рассматриваемых лишь как высокопродуктивные нефтематеринские толщи. Вместе с тем, доманиковый горизонт на сегодняшний день рассматривается как единая неструктурная залежь углеводородов (УВ), т.к. содержит значительное количество УВ, еще не эмигрированных, а породы способны как производить УВ, так и концентрировать их в отдельных пластах и зонах, выполняющих роль резервуаров (Ступакова и др., 2015). В ВУФ микронепфь образуется за счет собственного органического вещества (ОВ), являющегося одним из основных компонентов пород. Если в традиционных резервуарах ОВ представлено свободной подвижной нефтью, мигрировавшей из нефтематеринских отложений, то в ВУФ присутствуют одновременно: кероген; УВ и неуглеводородные соединения (гетероатомные соединения), сорбированные на керогене или минеральной матрице; свободные УВ образующие скопления подвижной и запечатанной нефти. Именно этим объясняется необходимость создания нетрадиционного подхода к изучению, оценке и подсчету запасов и ресурсов технически извлекаемой нефти из ВУФ.

Одной из характернейших особенностей всех высокоуглеродистых комплексов, включая и доманиковую толщу, является низкие фильтрационно-емкостные свойства пород (ФЕС), обусловленные пелитоморфностью пород. Однако и в пределах высокоуглеродистой трудно проницаемой толщи выделяются интервалы, обладающие

повышенным емкостным пространством (поры, трещины, микрокаверны), формирование которых обусловлено как седиментационными, так и постседиментационными факторами. Необходимо подчеркнуть, что обстановки осадконакопления углеводистых осадков были крайне дифференцированными (депрессии с компенсированным и некомпенсированным осадконакоплением, склоны депрессий, борта «рифовых тел», мелководная карбонатная платформа, включающая биогермные постройки разного масштаба, зарифовые впадины); соответственно, трудно проницаемые высокоуглеродистые породы замещаются по вертикали и латерали карбонатными породами с улучшенными коллекторскими свойствами.

Второй особенностью доманиковых отложений является то, что кероген II типа, который преобладает в породах, может генерировать УВ на ранних стадиях (на градации ПК-МК₁) и быть источником автохтонных битумоидов, т.е. наряду с генерацией битумоидов протекает и их эмиграция (Фадеева и др., 2015).

При сопоставлении типов разрезов, вскрытых скважинами в пределах Южно-Татарского свода, литологических особенностей строения выделяемых типов пород, количества ОВ и фильтрационно-емкостных характеристик нами было отмечена четкая приуроченность типов емкостного пространства (пористости, проницаемости) к определенным лито-генетическим типам пород.

Фильтрационно-емкостные характеристики высокоуглеродистых пород

Под «емкостным пространством» или «пористостью» авторы понимают объем всех имеющихся в породе пустот (пор, каверн, трещин), независимо от их формы, размера, происхождения и связи друг с другом. «Проницаемость» – это способность породы пропускать через себя флюиды при перепаде давления. «Породы – коллектора» – это породы,

способные вмещать и отдавать жидкие и газообразные флюиды (Баженова и др., 2000).

Изучение фильтрационно-емкостных характеристик проводилось в три этапа:

- первый этап заключался в изготовлении цилиндрических образцов и определении фильтрационно-емкостных свойств и минералогической плотности по газу в лабораторных условиях на установке АР-608;

- второй этап включил в себя работы по насыщению пустотного пространства горных пород керосином при избыточном давлении 12МПа и определение открытой пористости методом насыщения по Преображенскому в лабораторных условиях на естественных (не экстрагированных) образцах;

- третий этап включил в себя работы по очистке (экстракции) пустотного пространства горных пород органическим растворителем от УВ и гетеросоединений, сушке образцов и определению ФЕС по азоту на установке АР-608 на экстрагированных образцах. Очистка пустотного пространства проводилась методом горячей экстракции хлороформом в аппарате Сокслета.

Емкостное пространство высокоуглеродистых пород депрессий

Для рассматриваемых пород характерны: темная окраска за счет повышенного содержания ОВ; известково-кремнистый, кремнисто-известковый состав, незначительная примесь глинистых минералов; миллиметровая слоистость, обычно горизонтальная, реже линзовидная. Слоистость обусловлена колебаниями основных компонентов, слагающих эти породы: сапропелевый материал (кероген); известковый материал, представленный ракушняковым шламом, микритовой примесью, остатки тентакулит, радиолярий, кремневый материал.

В результате изучения ФЕС высокоуглеродистых пород по всем образцам наблюдается увеличение открытой пористости по газу после экстракции по сравнению с динамической пористостью, замеренной до экстракции образцов. Аналогичная картина отмечается при изучении проницаемости (Табл. 1).

Увеличение пустотного пространства связано, по нашему мнению, с более высоким содержанием УВ в более пористых образцах, которые в процессе экстракции высвобождают больший объем пустотного пространства, тем самым увеличивая открытую пористость. Между тем увеличение открытой пористости на образцах с низкими

значениями пористости может быть обусловлено также образованием микротрещиноватости.

В результате петрографического анализа выделены следующие типы пористости:

1) *Пористость, связанная с биоморфной структурой и выполненная битумоидами в высокоуглеродистых породах (ритмитах)*. «Биопустоты» связаны с тентакулитами и радиоляриями. Слойки, толщиной до 2 мм, преимущественно кремневого состава, со слабо деформированными тентакулитами. Диаметр остатков до 0,5 мм, преобладает 0,25 мм, длина до 1 мм. Внутрикавинное пространство выполнено халцедоном с тонкофибровой структурой; нередко имеет зональное строение от стенки к центру: халцедон с радиально лучистой структурой – кварц с гранобластовой структурой. В полостях тентакулит, выполненных волокнистым халцедоном отмечается ОВ, в отличие от участков (обычно в центре), залеченных кварцем с гранобластовой структурой. Пустотное пространство приурочено также к участкам с волокнистым халцедоном как в тентакулитах, так и в трещинах (Рис. 1а-е). Встречаются слойки, насыщенные как радиоляриями, так и биокластами тентакулит (25:75). Размер радиолярий 0,05 мм, большая их часть сильно растворены, корродированы и целиком замещены халцедоном, к которому приурочено ОВ (Рис. 1ж-з). Можно предположить, что процессы раннего окремнения способствовали сохранению (не деформированности) формы биогенных остатков (тентакулит и радиолярий), которые в последствии, становятся «ловушками» для миграционных битумоидов (свободной нефти). Вероятно, благодаря особенностям структуры халцедона (тонковолокнистой или тонкофибровой) на этих участках увеличивается емкостное пространство (Табл. 1). В свою очередь процессы ранней карбонатизации способствуют залечиванию «биопустот».

2) *Пористость, не связанная со структурой и выполненная битумоидами в высокоуглеродистых породах, представленная микрокавернами, микротрещинами и микростилолитовыми швами*.

Микрокаверны размером от 0,05×0,05 мм до 0,1 мм, выполненные битумоидами, встречаются преимущественно в кремневых породах и связаны, вероятно, с процессами выщелачивания (Рис. 2а-б). Они имеют преимущественно щелевидный характер, инкрустированы халцедоном и ориентированы параллельно микростроистости.

Микротрещины, заполненные битумоидами, имеют субвертикальные, субгоризонтальные и субдиагональные

направления; ширина трещин до 0,01 мм. Обычно они не выходят за пределы единичных слойков, как кремневого, так и известкового состава. Их образование связано, вероятно, с процессами ранней карбонатизации и окремнения слойков, насыщенных биогенными остатками. Чередование последних с керогеном, тонкая слоистость, способствовали созданию слойков с разной степенью литификации,

Литологический тип пород	До экстракции				После экстракции		
	Кп, % по		Кпр ^{ар} , мД	S ₁ , мг УВ/г породы	Кп, % по азоту	Кпр ^{ар} , мД	S ₁ , мг УВ/г породы
	керосину	азоту					
Ритмичный кремнистый тентакулитовый, высокоуглеродистый	0,15-0,13	0,77-0,94	0,003	2,68-4,85	1,87-3,61	0,07-1,22 0,36	
Ритмичный глинисто-кремнисто-известковый тентакулитовый, высокоуглеродистый	0,09	0,67	0,003	10,94	8,79		

Табл. 1. Фильтрационно-емкостные свойства пород семилукского горизонта

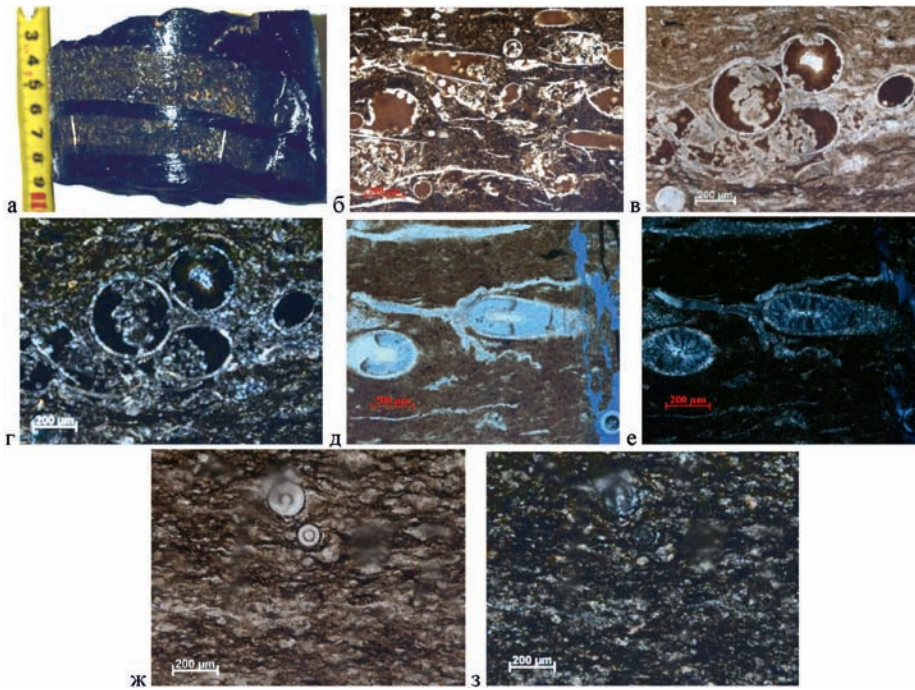


Рис. 1. Высокоуглеродистые породы, с остатками тентакулит (а-е) и радиоларий (ж-з) Николи: б, в, д, ж) параллельные; г, з) скрещенные

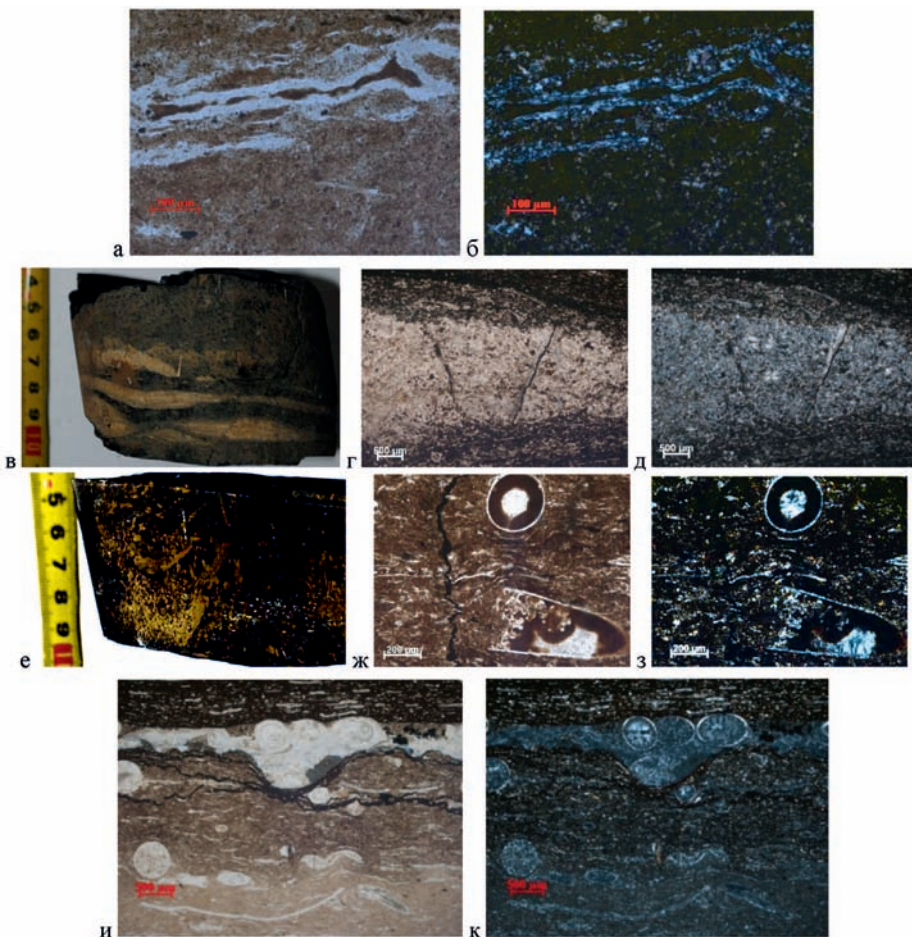


Рис. 2. Пористость, не связанная со структурой и выполненная битумоидами в высокоуглеродистых породах: а-б) микро «каверны» в кремневых высокоуглеродистых ритмитах; в) линзы шламового известняка, трещиноватого (фото образца); г-з) трещины, заполненные битумоидами (е-фото образца кремневого ритмита трещиноватого); и-к) микростилолитовые швы. Николи: параллельные – а, г, ж, и); скрещенные – б, д, з, к)

а внутрипластовое давление развитию мелкой трещиноватости (Рис. 2в-з). Сильная трещиноватость высокоуглеродистых пород подтверждается и при анализе образцов, пропитанных люминофором (Сауткин и др., 2016).

В породе встречаются многочисленные микростилолитовые швы, также подчеркнутые битумоидами. Швы ориентированы параллельно слоистости и формировались на стадии катагенеза, как результат растворения в твердом состоянии под воздействием литостатического давления (Рис. 2и-к).

3) *Открытая пористость в карбонатных породах высокоуглеродистой толщи.* В высокоуглеродистой тонкослоистой толще выделяются прослои известняков, нередко нефтенасыщенные, мощностью от 1 до 7 см. Представлены преимущественно биокласт-шламовыми известняками, в основном тентакулитовыми, реже полидетритовыми, углеродистыми (ТОС 0,5-5%) с включениями криноидей, трудноопределимых остатков и остракод. Известняки трещиноватые, с мелкими кавернами, выполненными битумом. Размер каверн от 0,2 до 1 см. По мелким, преимущественно, субвертикальным трещинам так же отмечается битуминозность. До экстракции K_{II} по керосину составлял 0,15-0,78%, по азоту – от 1,89 до 4,23%, K_{np} – 0,02-1,34 мД; после экстракции K_{II} по азоту – 0,5-2,6%, K_{np} – 0,01-1,85 мД; таким образом, динамическая и открытая пористость в этих породах очень близки. Петрографический анализ показал, что открытая пористость отмечается преимущественно в тентакулитовых известняках, где замечены процессы доломитизации. Встречаются единичные межзерновые поры, размером 0,75×0,05-0,25 мм, а также пустоты выщелачивания (от 0,3×0,1 мм до 0,05×0,05 мм) (Рис. 3). Открытая пористость формировалась, вероятно, как в процессе вторичной перекристаллизации, в том числе и доломитизации, так и процессов выщелачивания.

Ритмиты семилукского горизонта на Березовской и Азнакаевской площадях содержат повышенные концентрации ОБ (ТОС=2,5-21,5, среднее 13,3%), относящегося к керогену типа II (НП=402-612, среднее 547 мг УВ/г ТОС). Степень преобразованности отвечает в основном градации катагенеза $МК_1$ (T_{max} =426-438°C), что подтверждается также низкими значениями

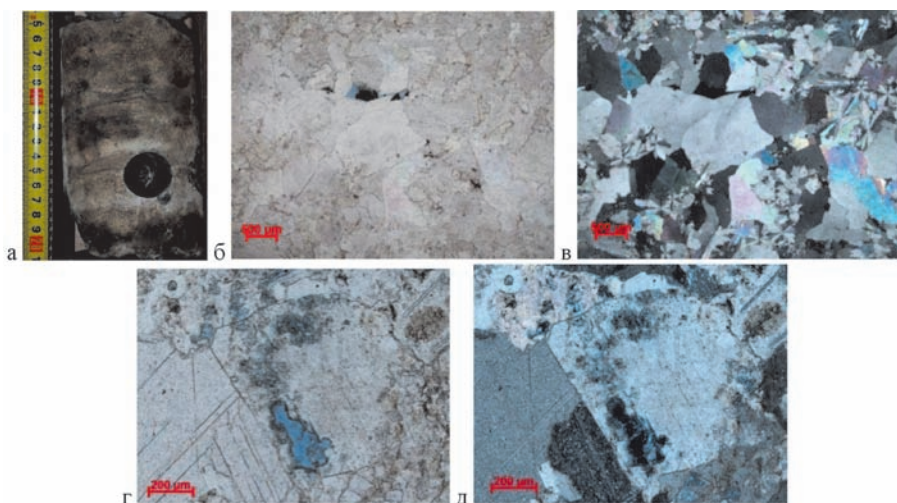


Рис. 3. Известняки доломитистые углеродистые с повышенными значениями открытой пористости. Фото образца (а); Поры межзерновые (б, в) и выщелачивания (г, д)

отношения трисноргопановых УВ Ts/Tm (0,09-0,67, среднее 0,19) и метилзамещенных серасодержащих ароматических УВ 4/1-MDBT (0,75-1,2, среднее 0,97), свойственных началу главной зоны нефтеобразования. В этих условиях наряду с генерацией развивается эмиграция битумоидов и УВ. Миграционная часть ОВ фиксируется повышенными значениями битумоидного ($\beta^{XB} = \text{ХБ}/\text{ТОС}$) и углеводородного ($\beta^{HC} = S_1/\text{ТОС}$) коэффициентов 22-70% и 7-9% (соответственно) и коэффициента превращения керогена ($PI = S_1/S_1 + S_2$) 0,11-0,32, среднее 0,17. Они заполняют как биопустоты, так и многочисленные разнонаправленные микротрещинки, пустоты выщелачивания, образуя подчас скопления микро нефти ($\beta^{XB} = 46-91\%$). В групповом составе миграционных битумоидов встречены две разновидности: в одних повышено содержание легких фракций – отношение мальтены/асфальтены в среднем 1,7, в других, уже потерявших легкие фракции, это отношение 0,4. Автохтонные битумоиды ритмитов, характеризуются более низкими значениями указанных параметров: β^{XB} 18%, β^{HC} 4%, PI 0,08, мальтены/асфальтены 0,6. Углеводородный состав алкановых и циклических УВ как автохтонных, так и миграционных битумоидов оказался весьма близким, что говорит об их генетическом единстве. Миграционные формы ОВ можно рассматривать как паравтохтонные битумоиды и УВ, т.е. они образованы из ОВ единого типа, но переместились внутри нефтематеринской породы.

Емкостное пространство карбонатных пород мелководного генезиса (карбонатной платформы)

Емкостное пространство в доломитах

В пределах Азнакаевской площади скважиной были вскрыты карбонатные породы речичского горизонта, перекрывающие высокоуглеродистые породы семилукского горизонта. Интервал мощностью 3,2 м характеризуется появлением прослоев известняков с остатками аммонитов, доломитов, пирокластики, значительной примеси глинистых минералов и резким сокращением сапропелевого

материала в ритмитах. Выше разрез преимущественно карбонатный, для которого характерно чередование известняков и доломитов. Известняки от микритовых с остатками строматопоридей до средне-мелкозернистых. Для этой части разреза характерна интенсивная крупная кавернозность, приуроченная преимущественно к прослоям средне-мелкозернистых доломитов (Рис. 4, 5). Доломиты серого цвета или пятнистые, с комковатой текстурой, местами слоистые. Слоистость подчеркнута насыщением биогенными остатками и ОВ, границы слоев отчетливые неровные. Текстура нарушена трещинами, микроползаниями. Структура доломитов гранобластовая, конформная. Размер зерен от 0,1 мм до 0,5 мм, пре-

обладает 0,1 мм; зерна преимущественно идиоморфные. На отдельных участках отмечается присутствие органического материала в межзерновом пространстве (Рис. 6). Характерно обилие пустот (жеод), инкрустированных кальцитом и крупными кристаллами кварца, нередко с примазками битума. Характер каверн обусловлен преимущественно текстурными особенностями породы. В породах с неясной слоистостью каверны ориентированы параллельно слоистости (средний размер 0,2×5 см). В породах с комковатой слоистостью пустоты более крупные, неправильной изометричной формы (средний размер 5×5 см) (Рис. 4). Кроме крупных каверн, в основной массе



Рис. 4. Интервал, насыщенный доломитами кавернозными

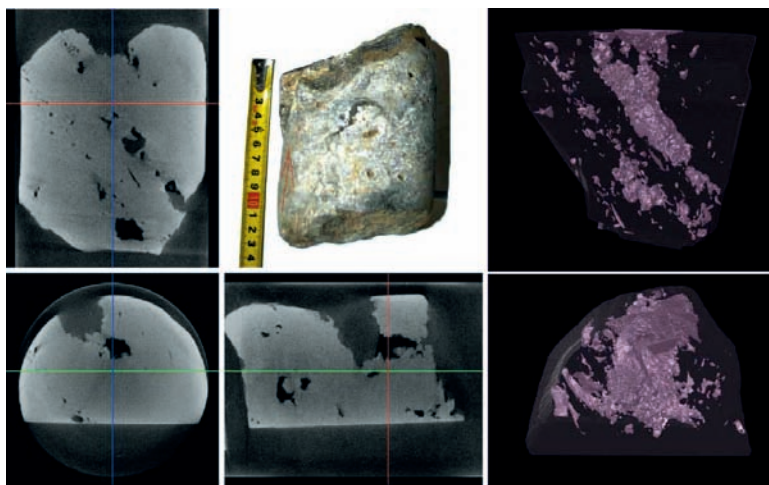


Рис. 5. Пустотное пространство в доломите порово-кавернового типа. Размер каверн до 0,2×4 см. На стереологических моделях отмечается ориентированность пустот согласно напластованию

породы встречается межзерновое пустотное пространство размером от 0,05×0,1 мм до 0,5×1,0 мм, а также поры, приуроченные к центральной части отдельных перекристаллизованных биокластов, размером от 0,05×0,05 мм до 0,1×0,4 мм (Рис. 6, 7). Встречаются: а) линейные участки (возможно трещины) шириной 0,05 мм, выполненные керогеном с редкими кристаллами доломита; б) трещины, инкрустированные кальцитом и частично заполненные керогеном. Общая ширина трещин до 1,5 мм, открытых участков, частично с керогеном – от 0,25 до 0,75 мм. На отдельных участках встречены доломиты известковые средне-мелкозернистые углеродистые. По данным РФА содержание кальцита и доломита соответственно (%) 14; 86.

Миграционные УВ, заполняющие каверны, трещины в карбонатных породах речичского горизонта, характеризуются повышенными значениями β^{HC} 13,3% и PI 0,26 (средние); значения водородного индекса HI 373 мг УВ/г ТОС близко к некоторым разновидностям ОВ семилукского горизонта той же площади (HI=350-399, среднее 378 мг УВ/г ТОС), что предполагает миграцию УВ из этих отложений. Собственное ОВ речичского горизонта имеет низкие генерационные свойства – ТОС 1,5%, HI 43 мг УВ/г ТОС, (S_1+S_2) 0,9 мг УВ/г породы (средние), в групповом составе битумоида преобладают неуглеводородные компоненты – мальтены/асфальтены 0,5; эти отложения можно рассматривать только как газоматеринские.

Емкостное пространство в известняках

В разрезе карбонатных пород заволжского горизонта, вскрытого в пределах Бавлинской площади выделяются редкие прослои известняков микритовых с примесью ракушнякового шлама, биокластов и целнораковинных остатков, с неясной линзовидно-волнистой комковатой слоистостью, возможно водорослевого генезиса. Мощность светло-серых прослоев от 0,5 до 1 мм, серых прослоев от 1 до 2 мм. Для породы характерны участки неправильной формы, с извилистыми очертаниями, размером от 0,1 до 3 мм, выполненные тонко-мелкозернистым агрегатом кальцита, создающие комковатый облик породы. Выделяются мелкие нефтенасыщенные открытые каверны, ориентированные, преимущественно, параллельно слоистости, шириной 1-2 мм, протяженностью от 2 мм до 5 см, а также открытые пустоты неправильной формы, видимой ширины от 0,5 до 2,0 мм. Трещины преимущественно перпендикулярно слоистости. Мощности интервалов 0,7-1,5 м. Кп по азоту 1,9-7,1%, K_{np} 0,02-6,6 мД (Рис. 8, 9).

Нефтенасыщение приурочено также к известнякам мелкозернистым (сферо-узорчатым) водорослевым, возможно, лито-биокластовым, комковатым и неясно слоистым, а также к секущим трещинам (Рис. 10). K_n по азоту 1,8-6,9%, K_{np} 0,026-0,98 мД.

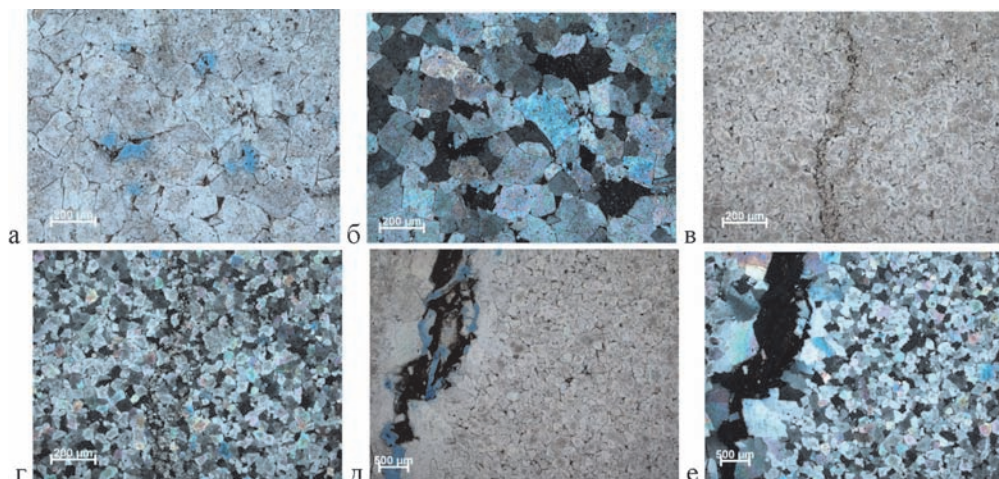


Рис. 6. Доломит мелкозернистый кавернозный. а-б) Открытые поры в доломите (окрашено голубым); в-г) трещины, выполненные керогеном; д-е) открытые трещины с керогеном, частично инкрустированные кальцитом. Никели: параллельные (а, в, д); скрещенные (б, г, е)

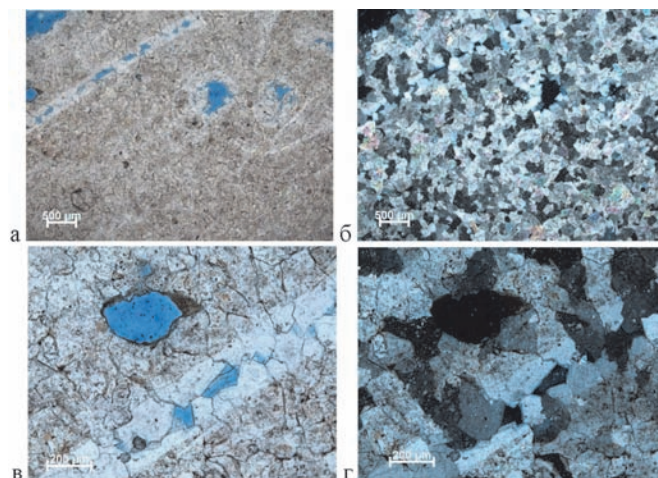


Рис. 7. Доломит средне-мелкозернистый. а-г) Реликтовые биокласты; а-г) пустоты приуроченные к биокластам и основной массе. Никели: параллельные (а, в); скрещенные (б, г).

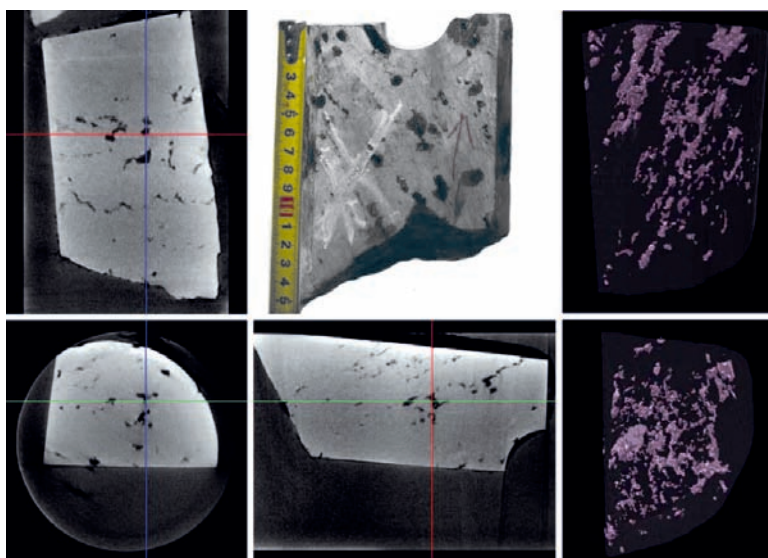


Рис. 8. Ортогональные рентгеновские сечения образца известняка и стереологические модели (справа) пустотного пространства. Съёмка полно-размерных образцов ядра проводилась на томографе РКТ-180-1

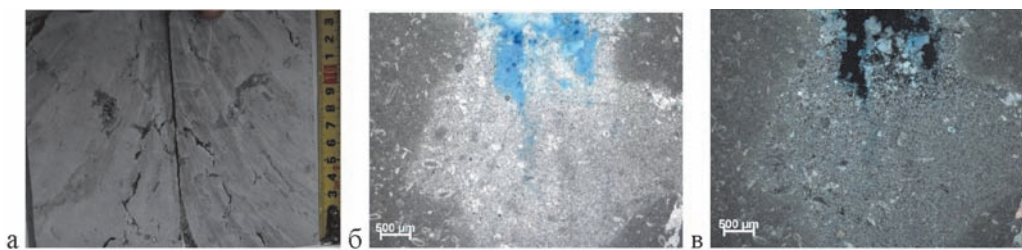


Рис. 9. Известняк криптозернистый с примесью ракушнякового шлама, биокластов нефтенасыщенный, с мелкими кавернами, ориентированными, преимущественно, параллельно слоистости (а-в). Николи: б) параллельные; в) скрещенные

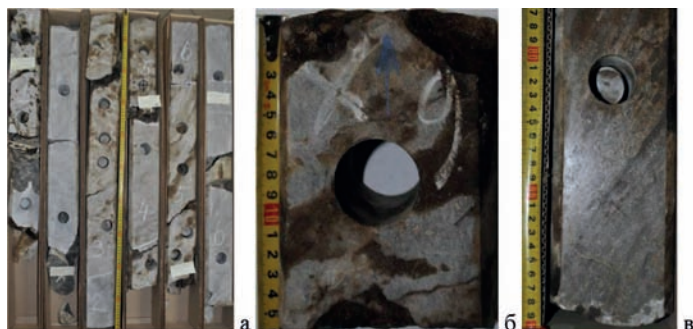


Рис. 10. Карбонатные, преимущественно известковые породы, вскрытые на Бавлинской площади, участками нефтенасыщенные

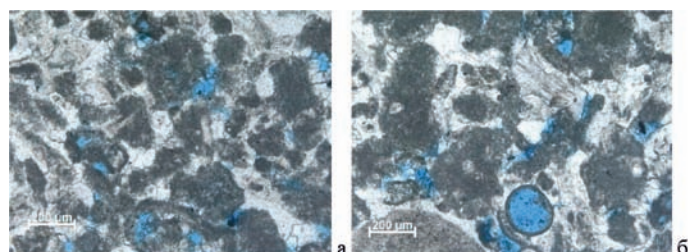


Рис. 11. Известняк сферо-узорчатый, водорослевый спаритовый. Николи: параллельные (а, б)

Для пород подобного типа характерен ясно зернистый, спаритовый цемент, представленный тонко-, среднезернистым агрегатом аутигенного кальцита с гранобластовой структурой, пленочного, порового и базального типа, цементирующего фрагменты, комочки микритового известняка, вероятно водорослевого генезиса. Пустоты, приуроченные к спаритовому цементу. Форма – щелевидная, изометричная, размер от 0,025 до 0,05 мм. Редко пустотное пространство приурочено к внутри раковинному пространству биогенных остатков, размером 0,1-0,2 мм (Рис. 11).

Собственный потенциал пород заволжского горизонта Бавлинского месторождения, находящихся на градации $МК_1$ (T_{max} 435°C), низкий и не позволяет рассматривать их как нефтематеринские (ТОС 1,35%, $S_1+S_2 < 1$ мг УВ/г породы, НН 39 мг УВ/г ТОС). В то же время нефте- и битумонасыщение отмечается по всему разрезу карбонатных отложений, поэтому уверенно выделить собственно автохтонные и миграционные битумоиды и УВ чрезвычайно сложно. Миграционные битумоиды фиксируются относительно повышенными значениями ХБА в породе (0,26%) и в ОВ (11,2%), преобладанием легкой фракции (мальтены/асфальтены 4) и значениями РИ (0,1-0,5, среднее 0,3) по сравнению с «автохтонными» битумоидами (0,08 и 5,3%, 3, 0,19, соответственно). Абсолютное содержание

миграционных УВ невелико $S_1=0,5$ мг УВ/г породы, но в расчете на ОВ оно относительно выше β^{HC} 3,5%, чем в «автохтонном» ОВ (0,13 и 0,9%, соответственно). В групповом составе битума, выделенного из породы при последовательной экстракции хлороформом в не растертом, а затем в измельченном

образце, отмечается резкое преобладание мальтеновой фракции над асфальтенами (мальтены 85 и 74%, асфальтены 11 и 29%, отношение мальтены/асфальтены 7,7 и 2,6, соответственно для 2-х экстрактов); пиролитический индекс продуктивности керогена показал, что его значения составляет 0,37, что в 1,5 раза превышает фон. Такая характеристика соответствует миграционному битумоиду; его УВ-ный состав близок к составу нефти из данково-лебедевского горизонта того же месторождения, но в них отсутствуют низкомолекулярные УВ. Существует некоторое противоречие между ФЕС пород, в которых отмечаются крупные каверны, трещины с высокой пористостью ($K_{пор}=2,3-7,11\%$), а в некоторых образцах отмечается и высокая проницаемость ($K_{пр}=0,12-6,6$ мД), и низким содержанием УВ в них; вероятно, часть УВ была потеряна.

Заключение

Проведенные петрофизические и геохимические исследования показали, что, несмотря на низкие значения пористости и проницаемости в высокоуглеродистых породах доманиковой формации Южно-Татарского свода в значительных количествах присутствуют миграционные битумоиды и УВ. Это обусловлено высоким нефтегенерационным потенциалом пород, содержащих высоколипидное ОВ, способное генерировать и отдавать жидкие УВ на ранних этапах катагенеза. Они заполняют биопустоты, микрокаверны и микротрещины.

Сохранению (не деформированности) формы биогенных остатков (тентакулит и радиолярий), являющихся «ловушками» миграционных битумоидов и УВ, способствуют процессы раннего окремнения. В то же

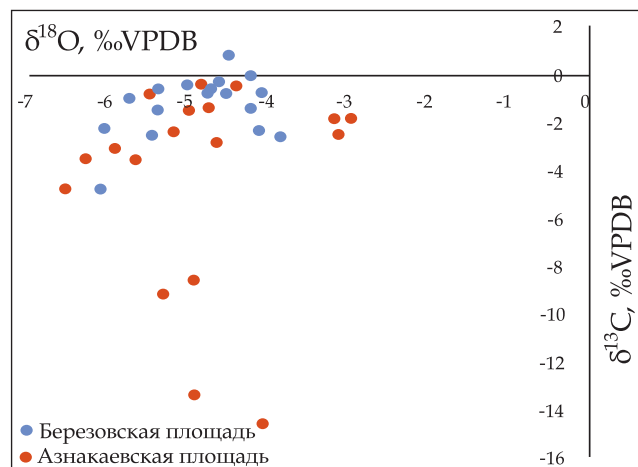


Рис. 12. Распределение стабильных изотопов углерода и кислорода в высокоуглеродистых породах доманиковой формации Южно-Татарского свода

время ранняя карбонатизация залечивает биопустоты и формирует карбонатные стяжения.

Процессы ранней карбонатизации и окремнения осадков, чередование их со слоями сапропелитов, тонкая слоистость, способствовали созданию слоев с разной степенью литификации, а внутрислоевое давление – развитию мелкой трещиноватости. Литостатическое давление способствовало формированию микростилолитовых швов, также заполненных миграционными битумоидами.

Открытые пустоты в ВУФ приурочены к прослоям известняков, затронутых процессами вторичной перекристаллизации и доломитизации.

В карбонатных породах мелководного генезиса емкостное пространство трещинно-кавернового типа представлено открытыми кавернами в доломитах и известняках микритовых, открытой пористостью в доломитах и межкристаллической в биоспарите, слепковой (биопустоты).

Емкостное пространство в породах ВУФ Южно-Татарского свода формировалось в результате выщелачивания и перекристаллизации, в том числе доломитизации. Источником растворов, способствующих этим процессам, являлась углекислота. Изотопный состав углерода указывает на то, что источником углерода служил CO_2 , растворенный в морской воде, или выделившийся в результате растворения биогенного кальцита. В единичных образцах наблюдается обогащение легким изотопом углерода до $-14,6\text{‰ VPDB}$, что указывает на участие в их образовании изотопно-легкой углекислоты, образовавшейся при разложении ОБ (Рис. 12). Изотопный состав кислорода указывает на осаждение кальцита как основной массы пород, так и различных включений (линз, конкреций, крупно- и мелкокристаллического кальцита, выполняющего трещины), при температурах $28-47^\circ\text{C}$.

Литература

Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. Геология и геохимия нефти и газа. М: Изд. Моск. ун-та. 2000. 381 с.

Сауткин Р.С., Хамидуллин Р.А., Коробова Н.И. Трещиноватость высокоуглеродистой формации на северном склоне Южно-Татарского свода. *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. 2016. № 1. С. 92-97.

Ступакова А.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А., Богомолов А.Х., Кирюхина Т.А., Коробова Н.И., Шарданова Т.А., Сулова А.А. Сауткин Р.С., Полудеткина Е.Н., Козлова Е.В., Митронов Д.В., Коркоц Ф.В. Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна. *Георесурсы*. 2015. № 2(61). С. 77-86.

Фадеева Н.П., Козлова Е.В., Полудеткина Е.Н., Шарданова Т.А., Пронина Н.В., Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Хомяк А.Н. Генерационный потенциал пород доманиковой формации Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. 2015. № 6. С. 44-52.

Сведения об авторах

Татьяна Анатольевна Шарданова – доцент, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра литологии и морской геологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: tshardanova@mail.ru

Наталья Петровна Фадеева – ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
Тел: +7(495)939 24 98, e-mail: fadeeva_nataly@mail.ru

Алексей Николаевич Хомяк – младший научный сотрудник, кафедра литологии и морской геологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: khomyak.an@yandex.ru

Руслан Айратович Хамидуллин – научный сотрудник, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: ruslan_msu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.03.2017;

Принята к публикации 01.04.2017;

Опубликована 20.05.2017

The pore space of carbon-enriched rocks (at the example of Domanik formation of the South Tatar arch)

T.A. Shardanova, N.P. Fadeeva, R.A. Khamidullin, A.N. Khomyak

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. Petrophysical, geochemical and lithological features of the Domanik formation rock structure are considered. Particular attention is paid to the formation of the pore space in the pelitic carbon-enriched deposits within the depressions. The latter are characterized by low reservoir properties, heightened content of organic matter and siliceous-carbonate composition. Sedimentation and post-sedimentation factors affecting formation of pores filled with micro-oil are identified. High generation potential of rocks capable of generating and giving off liquid hydrocarbons at early stages of catagenesis is singled out. The pore space in carbonate complexes of shallow-marine origin overlapping carbon-enriched deposits is described. In spite of oil and bitumen

saturation of these rocks, the predominant migratory character of hydrocarbons was noted.

Keywords: Domanik, carbon-enriched formation, pore space

For citation: Shardanova T.A., Fadeeva N.P., Khamidullin R.A., Khomyak A.N. The pore space of carbon-enriched rocks (at the example of Domanik formation of the South Tatar arch). *Georesursy = Georesources*. 2017. Special issue. Part 1. Pp. 125-132. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.13>

References

Bazhenova O.K., Burlin Yu.K., Sokolov B.A., Khain V.E. *Geologiya i geokhimiya nefi i gaza* [Geology and geochemistry of oil and gas]. Moscow: Publishing house of Moscow University. 2000. 381 p. (In Russ.)

Fadeeva N.P., Kozlova E.V., Poludetkina E.N., Shardanova T.A., Pronina N.V., Stupakova A.V., Kalmykov G.A., Khomyak A.N. The Hydrocarbon Generation Potential of the Domanik Formation in the Volga-Ural Petroliferous Basin. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya = Moscow University Geology Bulletin*. 2015. No. 6. Pp. 44-52. (In Russ.)

Sautkin R.S., Khamidullin R.A., Korobova N.I. Fracture of the high-carbon formation on the northern slope of the South Tatar arch. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya = Moscow University Geology Bulletin*. 2016. No. 1. Pp. 92-97. (In Russ.)

Stupakova A.V., Fadeeva N.P., Kalmykov G.A., Bogomolov A.Kh., Kiryukhina T.A., Korobova N.I., Shardanova T.A., Suslova A.A., Sautkin R.S., Poludetkina E.N., Kozlova E.V., Mitronov D.V., Korkots F.V. Criteria for oil and gas search in domanic deposits of the Volga-Ural basin. *Georesursy = Georesources*. 2015. No. 2(61). Pp. 77-86. (In Russ.)

About the Authors

Tat'yana A. Shardanova – Associate Professor, PhD in Geology and Mineralogy, Department of Lithology and Marine Geology

Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
e-mail: tshardanova@mail.ru

Nataliya P. Fadeeva – Leading Researcher, PhD in Geology and Mineralogy, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
Phone: +7(495)939 24 98, e-mail: fadeeva_nataly@mail.ru

Aleksei N. Khomyak – Junior Researcher, Department of Lithology and Marine Geology
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
e-mail: khomyak.an@yandex.ru

Ruslan A. Khamidullin – Researcher, Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
e-mail: ruslan_msu@mail.ru

Manuscript received 10 March 2017;

Accepted 1 April 2017;

Published 20 May 2017