



Генерационный потенциал органического вещества в «аномальных разрезах» баженовской свиты (Западная Сибирь)

Ситдикова Л.М.¹, Аухатов Я.Г.²

¹ Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань; sitdikova8432@mail.ru

² ООО «ЦСМРнефть» при Академии наук Республики Татарстан, г. Казань; yan-89178823520@yandex.ru

Анализ материалов сейсморазведки месторождений, на которых наблюдается аномальное строение разреза баженовской свиты, свидетельствует о том, что эти разрезы приурочены к участкам надвигов. Многие исследователи эти материалы трактуют иначе, как результат внедрения ачимовских толщ в баженовские отложения во время осадконакопления в неокомское время.

Благодаря горизонтальным движениям плотных песчаных пластов, во время формирования структур в аргиллитовых породах происходили: тектоническое скучивание и трещинообразование, такие зоны могут являться резервуарами для углеводородов или путями их миграции. По Аухатову Я.Г. (2001) аномальные разрезы баженовской свиты (Западная Сибирь) формировались в результате надвиговых движений и сопровождались увеличением общей мощности, за счет деформаций и скучиваний, по сравнению с мощностью обычных разрезов. Геодинамические деформации пород в олигоцен-плиоценовое время, содействующие созданию путей миграции нефти в баженовской свите, локальному повышению пластовых температур и образованию ловушек, являются важным фактором образования скоплений нефти в пласте Ю₀.

Современной моделью образования нефтяных углеводородов в результате надвиговых движений является гора Янгантау в Республике Башкортостан. Уникальный памятник природы – «горячая» гора Янгантау расположена в южной части Юрюзано-Сылвинской впадины, в непосредственной близости к сопряженному с ней Каратаускому аллохтону. Здесь в пределах вершинной части горы известно пять площадок, где из недр просачивается горячий пар и газы, которые содержат в своем составе азотистые соединения, метан и некоторые более сложные углеводороды.

В строении горы Янгантау участвуют отложения янгантауской свиты (типа доманика), представленные в основном темно-серыми, почти черными битуминозными

мергелями. Такие отложения перспективны для поисков углеводородов и могут рассматриваться как нефтематеринские породы (Исмагилов, 2014). В наиболее битуминозных разрезах количество органического вещества (ОВ) достигает 14,7%. Результаты бурения и исследования скважин и керн показывают, что феномен тепловых аномалий тесно связан с доманиковыми отложениями янгантауской свиты и тектоническими подвижками. Образование тектонических трещин в этих отложениях во время надвиговых движений, создавало условия для проникновения воздуха и воды в пласты, что способствовало окислению ОВ, сульфидов железа, а также переходу керогена в нефтяные углеводороды. Переход механических напряжений в тепловую энергию в пределах горы Янгантау было показано башкирскими учеными и были сделаны математические расчеты (Нигматуллин, 1998; Казанцева, 2014). Сегодня такие условия создаются искусственно – закачкой воздуха и воды в баженовские отложения в Надымском районе Западной Сибири для добычи сланцевой нефти.

В процессе сжатия, когда компетентные породы (песчаники) скользят по некомпетентным (аргиллиты), происходит деформация аргиллитов с образованием систем трещиноватости или нагнетания аргиллитов в сводовые части структур. Песчаные пласты и линзы при этом также растрескиваются, создавая трещинную проводимость. В скважинах, в которых наблюдается частое переслаивание аргиллитов и песчаников, аргиллиты внутри пласта также трещиноватые с зеркалами скольжения. Горизонтальная трещиноватость во время сдвиговых движений, направленных под углом или перпендикулярно к направлению линии надвига, создает дополнительную трещиноватость. Возникшая сеть трещин разделяет линзы и пласты песчаников на блоки, создавая межблоковую полостную систему трещин, рассмотренную в работах Денк С.О. Однако, вскрытие, освоение и разработка межблоково-проницае-

мых («трещинных») коллекторов нефти требует другой геотехнологии (Запивалов и др., 2013).

Современные состояния геодинамических сжатий и их разрядка приводят к повышению пластовых температур и давлений (АВПД), срыву обсадных колонн на уровне доманикоидных формаций Западной Сибири (Аухатов, 2004). Крупные деформации по этим формациям приводят к микросейсмичности, а иногда сейсмичности высоких баллов (например, в Нефтеюганске, Нижневартовске и др.).

Проблема изучения генерационного потенциала органического вещества в породах баженовской свиты представляет определенный научный и практический интерес для понимания происхождения углеводородов при надвиговых движениях. Для изучения использовался комплекс методов: оптические методы, рентгенофазовый анализ (РФА), растровая электронная микроскопия (РЭМ), методы ЭПР и ЯМР спектроскопии.

Распределение органического вещества в породах баженовской свиты изменяется от рассеянной, вкрапленной форм, до содержания в виде крупных скоплений, линзовидных выделений с остатками углефицированного растительного детрита. По результатам РЭМ-исследований установлено, что породы свиты, обладают микропористостью, различающейся как по размеру пор, так и по их форме. В более глубоких интервалах развиты войлочные формы иллита, выполняющих пустотное пространство, но поры при этом остаются проницаемыми. В пустотном пространстве часто присутствуют фрамбониды пирита, а также пирит в тонкодисперсном виде распространен по всему объему породы (Sitdikova et al., 2019).

Создание надежных методов неинвазивного изучения сланцевых пород как единого целого, их органической и минеральной частей, а также жидкостей, находящихся в поровом пространстве является востребованным как с экспериментальной, так и с теоретиче-

ской точек зрения. Комбинированная методика протонной релаксации ЯМР в низком поле ранее была применена для количественного определения фазового состояния компонентов в сырой нефти, определяемых методом SARA-ЯМР (Волков и др., 2018). Данная методика была использована для изучения фазового состояния ОБ пород «аномального» бажена: светлой (песчаной) и черной (глинистой) частей образца, без нарушения структуры вещества, без растворителей (Табл. 1). По аналогии с ЯМР асфальтенов (Волков и др., 2018), Aos обозначена интенсивность быстроспадающей твердофазной компоненты с гауссовой T2sc и экспоненциальной T2sam временами релаксации. Экспоненциальная компонента описывается коэффициентом fam аморфной доли, отличной от гауссовой «кристаллической», жестко организованной структуры.

Количество молекул двух жидкофазных компонент, обозначенные Aol и Aolexp, отличаются по длительности времени релаксации – T2l (мсек) и средней T2lexp (мксек). При калибровке ЯМР сигнала на мг воды, величина полной амплитуды сигнала спада свободной индукции (ССИ) определяет протонное содержание или протонный индекс HI, мгН/г в ОБ. В качестве пилотного эксперимента оценили фазовое состояние ОБ в породах после холодной экстракции хлороформом УВ (см. Табл. 1). Окраска экстракта была бледно-желтой, что соответствовало легким фракциям нефти. Первое изменение в фазовом состоянии ОБ отмечено уменьшением водородного индекса HI и Aos – процентного содержания твердой фазы в светлой и черной частях образцов пород «аномального» бажена. Сохранение высокой доли твердофазной компоненты характеризует высокую долю нерастворимой части ОБ в образцах. Второе изменение касается компонент жидкой фазы и имеет разноплановый характер. Наши результаты подтверждают мнение о том, что кероген и асфальтены содержат сходные композиционные макромо-

Таблица 1

Результаты типизации релаксации ОБ по спаду свободной индукции (ССИ) в исходной породе и после экстракции УВ хлороформом

Образец породы аномального бажена	Liquid Phases (жидкие фазы)				Solid Phases (твердые фазы)				HI
	Aol, %	T2l, ms	Aolexp, %	T2lexp, mks	Aos, %	T2sc, mks	fam	T2sm, mks	ССИ
Светлая (песчаная) часть, до экстракции	1,41	4,93	19,65	116,56	78,94	29,32	0,87	24,64	2,31
Черная (аргиллитовая) часть, до экстракции	0,16	1091,5	3,77	92,68	96,07	15,33	0,26	22,07	24,42
Экстрагированная фракция из светлой части, Extr_ светл.	2,85	26,37	23,43	112,50	73,72	33,15	0,45	36,05	1,56
Экстрагированная фракция из черной части, Extr_ черн.	5,27	557,3	0,17	50,00	94,56	16,17	0,19	24,19	19,23

Таблица 2

ЭПР свободного радикала исходного образца и после экстракции и пиролиза 350°С
(отн. ед. на гр. породы)

Образец пород «аномального» бажена	Температура		Экстрагируемые УВ
	23° С	350° С	
Исходный обр. – светлая (песчаная) часть	401,09	206,55	
Исходный обр. – черная (глинистая) часть	4225,32	4832,46	
Экстрагированный обр. – светлая (песчаная) часть	173,14		1310,95
Экстрагированный обр. – черная (глинистая) часть	4468,48		1386,87

лекулярные структуры.

В качестве альтернативного метода, не нарушающего структуру вещества, был использован метод ЭПР, включающий термохимическое воздействие на породу для установления типа органического вещества и особенностей его распределения (Табл. 2). Согласно этим результатам, количество свободного органического радикала у пород черной части «аномального» бажена на порядок выше, чем у пород светлой части, что соотносится с данными по водородному индексу HI (см. Табл. 1). Высокие значения свободного органического радикала указывают на повышенное содержание органического вещества в породе. С целью определения возможного УВ-потенциала пород «аномального» бажена были проведены исследования процесса пиролиза органического вещества и установлено, что при температуре 350°С происходит образование новых свободных УВ-радикалов, свидетельствующее о том, что породы свиты в природных условиях не в полной мере реализовали свой УВ потенциал.

Результаты исследований свидетельствуют, что отложения баженовской свиты не только содержат большое количество трудноизвлекаемых углеводородов, но и имеют дополнительный генерационный потенциал. Рентабельное извлечение углеводородов из пород «нормальных» разрезов баженовской свиты требует более детального изучения и применения новых технологий разработки и добычи углеводородов. Для поисков залежей углеводородов в баженовской свите и мониторингового изучения геотермальных полей при термогазовом воздействии на пласт, наиболее перспективным является использование технологии метода видеотепловизионной генерализации Мухамедьярова Р.Д. (Аминев и др., 2016).

Литература

Аухатов Я.Г. Влияние надвиговых движений на характер строения продуктивных пластов Тевлинско-Рускинского месторождения (Среднее

Приобье, Западная Сибирь) // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Четвертая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск: Путивель, 2001. С. 399–401.

Аухатов Я.Г. Тектонические условия среза обсадных колонн в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири // Геология. Известия ОН-ЗиЭ АН РБ. 2004. № 9. С. 110–111.

Аминев И.М., Аухатов Я.Г., Мухамедьяров Р.Д. Объемные портреты Шихан – Бельской впадины // Геология, полезные ископаемые и проблемы геэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы и доклады 11-й Межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института геологии УНЦ РАН, Уфа, 17–19 мая 2016 г. Уфа: ДизайнПресс, 2016. С. 3–5.

Волков В.Я., Сахаров Б.В., Хасанова Н.М., Нургалеев Д.К. Анализ компонентного состава и свойств тяжёлых нефтей *in situ* методом ЯМР релаксации в низких магнитных полях // Георесурсы. 2018. Т. 20. № 4. Ч. 1. С. 308–323.

Исмагилов Р.А. Янгантауская свита – основной перспективный нефтегазогенерирующий объект // Р.Х. Муслимов (ред.) Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы углеводородов: опыт и прогнозы: Материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 3–4 сентября 2014 года. Казань: Фэн АН РТ, 2014. С. 231–233.

Нигъматуллин Р.И., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В. Происхождение тепловых аномалий горы Янгантау на Южном Урале // Геология. Известия Отделения наук о Земле АН РБ. 1998. № 3. С. 24–43.

Казанцева Т.Т. О происхождении и сохранении феномена горы Янгантау // Вестник Академии наук РБ. 2014. Т.19. № 3. С. 16–28.

Запывалов Я.Г., Аухатов Я.Г. Градиенты депрессии на продуктивный пласт в процессе разработки нефтяных месторождений // Муслимов Р.Х. (ред.) Материалы Международной научно-практической конференции Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии. 4–6 сентября 2013, Казань. Казань: Фэн АН РТ, 2013. С. 62–65.

Sitdikova L., Bondarev E., Khasanova N. Laboratory studies of the behavior of organic matter of the Bazhenov deposits during thermal effects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 282. Iss.1. Art. 012041.

Generation potential of organic matter in "anomalous sections" of the Bazhenovo formation (Western Siberia)

Sitdikova L.M.¹, Aukhatov Ya.G.²

¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan; Sitdikova8432@mail.ru

² The Center for Improving Oil Development Methods Ltd, Academy Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan; yan-89178823520@yandex.ru

The object of our research is the rock matter of the Bazhenovo formation. A set of methods (optical methods, RFA analysis, EPR, SEM, proton magnetic relaxation in low fields) was used. Special attention was paid to the main features of organic matter in the rocks of the Bazhenovo formation representing the "anomalous" type of the section. The research results show that the deposits of the Bazhenovo formation not only contain a large amount of ready-made hard-to-recover reserves, but also have additional generation potential.