

Проблемы оценки емкостных свойств пород баженовской свиты

М.Ю. Зубков* (ООО «Западно Сибирский Геологический Центр»)

Введение

Чтобы правильно провести оценку емкостных свойств различных типов пород баженовской свиты (БС), необходимо разобраться с механизмом формирования коллекторов в этих отложениях. Существуют два основных представления о формировании коллекторов в БС. Первое, предложенное Ф.Г. Гурами [1] – это листоватый коллектор, образующийся по мнению автора в результате флюидоразрыва микрослоистых осадков БС, нефтидами, генерируемыми исходным органическим веществом (ОВ), объем которых превышает его первоначальный объем. Второе впервые было сформулировано в работе М.Ю. Зубкова с соавторами, в 1999 году. Оно было основано на обширном фактическом литолого-петрофизическом, геофизическом и промышленном материалах, а также на результатах тектонофизического моделирования. Второе представление основано на том, что в прочных, но хрупких разновидностях пород, входящих в состав БС, в результате тектоно-гидротермального воздействия на них формируются вторичные коллекторы трещинного (в силицитах) и трещинно-кавернозного (в карбонатах) типов [2, 3].

Результаты исследований

Главным недостатком первой модели формирования коллекторов в БС является тот факт, что БС на большей части, занимаемой ею территории, за исключением периферийных районов находится в главной зоне нефтегенерации поэтому, исходя из первой модели, она должна быть нефтеносной на большей части площади ее распространения. Однако продуктивными её отложения являются лишь на небольших участках, характеризующихся повышенными и аномально высокими пластовыми температурами ($T_{пл}$), а керн, поднятый из продуктивных скважин, обычно интенсивно раздроблен с многочисленными трещинами (силициты) или помимо трещин содержит еще и каверны (карбонаты) (рис. 1).

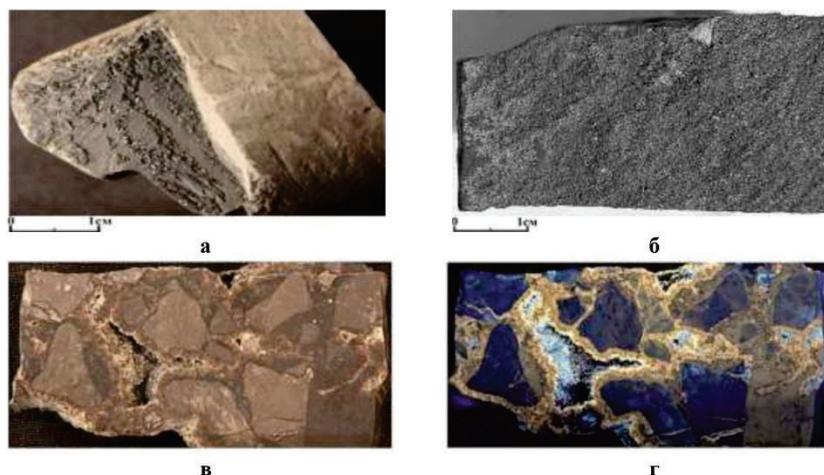
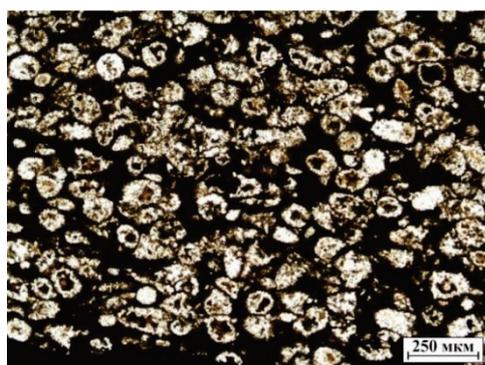


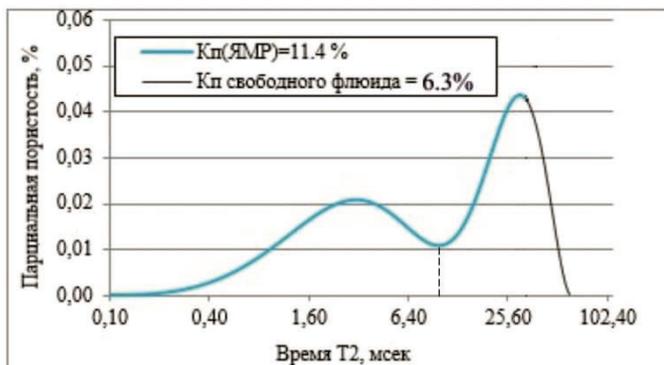
Рисунок 1. Фотографии трещиноватых образцов силицитов (а, б) и трещинно-кавернозного образца карбоната, снятого в «белом» (в) и ультрафиолетовом (г) свете

В БС присутствует еще один тип коллекторов – это радиоляриты, часто частично или полностью замещенные карбонатами. Они характеризуются псевдогранулярным типом пористости, емкостное пространство в которых представлено пустотами между раковинками радиолярий (рис. 2а). Многочисленные исследования коллекторских свойств образцов БС

показали, что в подавляющем большинстве их пористость не превышает 1-2%, а проницаемость меньше 0,1 мД ($1\text{ мД} = 0,001\text{ мкм}^2$) [2, 3].



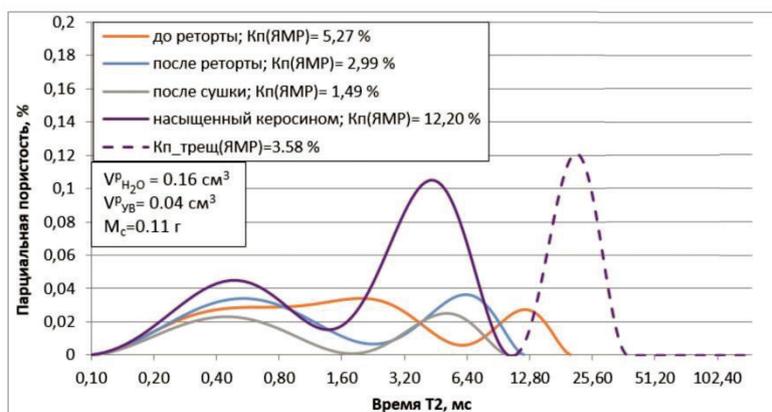
а



б



в



г

Рисунок 2. Фотография петрографического шлифа радиолярита (а) и его спектр ЯМР (б), фотография стандартного образца трещиноватого силицита (в) и его спектр ЯМР (г).

Используя формулу Дюпюи можно оценить дебит скважины, вскрывшей БС, приняв проницаемость пород, равной 0,1 мД, её мощность, равной, например, 25 м, радиус дренирования – 250 м и депрессию - 10 МПа. Для этих условий, исключая скин-фактор, максимальный дебит такой скважины составит всего около 2 м³/сут. Однако, на самом деле, дебиты нефти из скважин, вскрывших БС, нередко достигают десятков и даже первых сотен м³/сут. Очевидно, что коллектора, из которых получают такие притоки, должны иметь гораздо более высокие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС). Отмеченные ранее ФЕС, скорее всего, главным образом, относятся к так называемым баженовитам, то есть преимущественно к генераторам нафтидов, а не к коллекторам. Коллекторами являются именно кремнистые и карбонатные прослои, о которых шла речь ранее, причем подвергшиеся вторичному (тектоногидротермальному) воздействию, так как в исходном состоянии они не обладают ФЕС. Эти прослои достаточно надежно выделяются по данным ГИС и в среднем их суммарная мощность, например, на Краснотеннинском своде, составляет около 10 м [3]. Используя ту же формулу Дюпюи несложно рассчитать, что при выбранной суммарной мощности пород-коллекторов, чтобы получить приток около 100 м³/сут, необходимо, чтобы средняя проницаемость этих коллекторов составляла порядка 10 мД. Понятно, что принятая десятиметровая суммарная мощность коллекторов не является однородной и в ней могут быть коллектора с разительно отличными друг от друга ФЕС. Например, карбонатный пласт КС₁,

вскрытый скв. 554 на Салымском месторождении, имеет толщину всего 2,5 м, а из него получен приток нефте-конденсата с дебитом 350 м³/сут. Воспользовавшись очередной раз формулой Дюпюи, сохраняя прежние принятые условия, несложно определить, что средняя проницаемость этого пласта составляет около 145 мД!

Таким образом, породы, входящие в состав БС, можно условно разделить на два типа: породы-коллекторы и породы-нефтегенераторы. Первые – это кремнистые и карбонатные типы, а генераторы – это остальные литотипы, содержащие в своем составе большое количество ОВ. В первых, как правило, присутствует небольшое количество ОВ (обычно не более 2-4%), причем практически все это ОВ представлено аллохтонными УВ и битумом, заполнившими их поровое пространство [2, 3]. Следует особо отметить, что продуктивные скважины находятся в участках, подвергшихся тектоно-гидротермальному воздействию, то есть они имеют вторичное (тектоно-гидротермальное) происхождение [2, 3]. При этом в породах-генераторах под действием высокоэнтальпийных флюидов происходила интенсивная генерация нафтидов, которые заполняли возникающую в них вторичную пористость за счет превращения исходного ОВ в нафтиды. Более того, «избытки» нафтидов выделялись в виде тонких прослоев битума. Эти процессы приводили к превращению БС в этих участках в битуминозные отложения, о чем писали классики [1]. Именно эти отложения характеризуются крайне низкими ФЕС, несмотря, на, казалось бы, возникающую вторичную пористость, поскольку их поровое пространство практически полностью оказалось заполненным битумом с небольшой примесью УВ, которые находятся в нем в виде истинных, а чаще «твердых» растворов (Зубков, Потапов; 2015). Эти породы не являются продуктивными, а потому нет смысла определять их коллекторские свойства, особенно с применением экстракции органическими растворителями, которые частично растворяют битум, формируя «эфмерную» пористость. Часто экстракция этого типа пород приводит к их разрушению, так как битум является в них цементом. Вышесказанное свидетельствует о больших трудностях, возникающих при определении ёмкостных свойств образцов БС и в частности решения вопроса о необходимости «исчерпывающей» экстракции образцов перед определением их пористости. Если породы-генераторы экстрагировать бессмысленно, то есть ли необходимость экстрагировать породы-коллекторы? Рассмотрим этот вопрос по отношению к простейшему их типу - радиоляритам. Радиоляриты, в отличие от обычных силицитов часто люминесцируют в ультрафиолетовом (УФ) свете, что свидетельствует о присутствии в них «подвижных» УВ. Рассмотрим образец такого радиолярита. По результатам анализа петрографического шлифа пористость этого образца составляет около 27%. Однако в шлифе хорошо видно, что все поровое пространство заполнено битумом (рис. 2а), содержание остаточной воды (реторта) равно 3%, а по данным ЯМР доля свободных УВ в этом образце составляет всего 6,3% (рис. 2б). Следовательно, основная часть порового пространства образца занята битумом, в котором в виде истинного раствора присутствуют УВ, составляя всего около 25% от всего порового пространства образца. Именно эти УВ и люминесцируют в УФ свете. Экстракция такого образца приведет к растворению не только УВ, но и битума, который не будет добываться из радиолярита, то есть произойдет искусственное увеличение его эффективной пористости, а значит и содержащихся в нем запасов свободных УВ. Горячая спиртобензольная экстракция может привести к увеличению первоначальной пористости (до экстракции) от 0,34 до 4,5%, при среднем значении равном около 1,6%. Рассмотрим теперь способ определения трещинной пустотности в трещиноватых силицитах (рис. 2в). Для этого при эффективном давлении определяется его пористость газоволюметрическим способом (ГС). Затем он насыщается водородсодержащей жидкостью и снимается его спектр ЯМР, на котором пик, расположенный при максимальных значениях времени релаксации будет отвечать объему трещинной пустотности, так как трещины представляют собой крупные «двумерные» поры (рис. 2г). Полученный в результате этого объем пор в идеале должен совпасть с определенным ГС, но в отличие от ГС, ЯМР проводится в атмосферных условиях, поэтому полученное этим методом значение трещинной пористости может оказаться немного выше, чем по данным ГС. Содержание в образце «свободных» УВ можно также оценить, используя данные пиролиза (пик S₁). Однако предварительно следует построить зависимость $УВ_{своб. ЯМР} - УВ_{своб. S_1}$ и учитывать масштабный эффект. Определять величину трещинно-кавернозной пористости (пустотности) в карбонатных

образцах лучше всего на полноразмерном керне газоволюметрическим методом, так как при изготовлении из такого керна образцов стандартного размера они в большинстве своем разрушаются, а на сохранившихся образцах можно измерить преимущественно лишь пористость матрицы.

Выводы

1. В составе БС при подсчете запасов следует выделять два главных типа пород: генераторы и коллекторы нефтидов, первые – это породы, обогащенные ОВ, а вторые имеют кремнистый и карбонатный составы.
2. В продуктивных участках верхнеюрские отложения подвергались тектоно-гидротермальному воздействию в результате чего происходило их интенсивное дробление и образование трещиноватых (силициты) и трещинно-кавернозных (карбонаты) типов коллекторов, а также активная генерация нефтидов, которые заполнили возникшую вторичную ёмкость в кремнистых и карбонатных породах.
3. Не следует экстрагировать породы-генераторы, так как содержащийся в них битум не добывается, и экстракция приводит лишь к появлению «эфемерной» ёмкости, в которой нет свободных УВ.
4. При определении пористости пород-коллекторов, помимо традиционных методов, следует использовать также комплекс более современных способов: ЯМР, пиролиз и ГС.
5. Остается не решенным до конца вопрос о необходимости экстракции пород-коллекторов до определения их емкостного пространства, так как на поверхности их пор, каверн и трещин помимо «подвижных» УВ всегда присутствует битум, который не добывается при разработке БС, но может быть растворен активными экстрагентами, что приведет к возникновению «эфемерной» дополнительной ёмкости.

Библиография

1. Гулари Ф.Г., Гулари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // – Геология нефти и газа. – 1974. - № 5. – С. 36-40.
2. Зубков М.Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза // Геология нефти и газа. - 2014. - № 5. - С. 58-72.
3. Зубков М.Ю. Подсчет запасов нефти в бажено-абалакском комплексе. Проблемы и пути их решения // Геология и недропользование. – 2021. - № 2(2). - С. 106-141.

References

1. Gurari F.G., Gurari I.F. Formation of oil deposits in mudstones of the Bazhenov formation of Western Siberia // Geology of Oil and Gas. - 1974. - No. 5. - S. 36-40.
2. Zubkov M.Yu. Reservoirs in the Bazheno-Abalaksy complex of Western Siberia and methods for their prediction // Geology of Oil and Gas. - 2014. - No. 5. - S. 58-72.
3. Zubkov M.Yu. Calculation of oil reserves in the Bazheno-Abalaksy complex. Problems and ways of their solution // Geology and subsoil use. - 2021. - No. 2(2). - S. 106-141.