



Подходы к оценке зрелости органического вещества в баженовском горизонте по данным сопоставления пиролитических параметров, литологии и стратиграфии разрезов

Гусев И.М., Панченко И.В., Смирнова М.Е., Талдыкин Я.Б., Куликов П.Ю.

ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов им. В.А. Двуреченского», г. Москва; gusev@mimgo.ru; panchenko@mimgo.ru

Баженовский горизонт (верхняя юра – нижний мел) развит на большей части территории Западной Сибири, охватывая огромную площадь (более 1 млн км²). С его отложениями связаны высокоперспективные объекты для поисков, разведки и добычи углеводородов (УВ). Запасы нефти в баженовских отложениях относят к нетрадиционным источникам УВ, которые требуют нетривиальных подходов к оценке перспектив и разработке. В растущем перечне критериев баженовской нефтеносности одним из важнейших остается степень преобразованности органического вещества (ОВ). Этот параметр связывается с нефтегенерационным потенциалом, аккумуляцией и миграцией баженовской нефти (Дорофеева и др., 1983; Дахнова и др., 2015; Козлова и др., 2015; Калмыков, Балужкина, 2017). Картирование перспективных на добычу нефти областей баженовского горизонта должно учитывать площадную неоднородность зрелости ОВ (Дахнова и др., 2015).

Классический способ изучения степени преобразованности ОВ состоит в определении отражающей способности витринита и, в меньшей степени, других микрокомпонентов рассеянного ОВ. Большинство существующих шкал зрелости ОВ построено на изменчивости этого свойства (например, Васюкович, 1891; Barnard, Соорег, 1981; и др.). К специфическим условиям седиментации нефтеносных баженовских отложений, помимо прочих, относятся значительное удаление зоны накопления углеродистых осадков от береговой линии и резкий дефицит терригенного материала (Дорофеева и др., 1983), вместе с которым обычно поставляются и рассеянные частицы наземного растительного ОВ. Центральная область морского бассейна была наиболее перспективной для

формирования баженовских отложений, поскольку эти условия в ней наиболее отчетливо выражены; здесь происходила преимущественно биохемогенная седиментация с накоплением глинисто-радиоляриево-сапропелевых илов (Панченко и др., 2016). По этой причине в баженовских отложениях из центральной части палеобассейна отсутствует материал с витринитом (рассеянные углефицированные частицы), необходимый для изучения зрелости ОВ общепринятым способом.

Высокая насыщенность баженовских отложений сапропелевым ОВ позволяет прибегнуть к другому подходу оценки катагенетической зрелости. Чаще всего для этих задач применяются методы пиролиза по системе приборов RockEval и HAWK (Дахнова и др., 2015; Козлова и др., 2015). Однако оценка степени преобразованности ОВ по пиролитическим параметрам при отсутствии нормирования на показатели витринита не может быть универсальной и некоторыми авторами не принимается (например, Астахов, 2016).

Породы центральной области развития баженовского горизонта содержат в себе однотипное ОВ, сходное по составу и происхождению (Дахнова и др., 2015; Козлова и др., 2015). При этом значения пиролитических параметров, в том числе T_{max} (температура °С наиболее интенсивного выхода УВ при пиролизе керогена) и HI (водородный индекс, мг УВ/г Сорг), колеблются в широких пределах (по нашим данным T_{max} 423–446 °С, HI 160–630 мг УВ/г Сорг). Вариации наблюдаются как по площади распространения, так и по разрезу баженовских отложений. Второе обстоятельство вызывает наибольшую сложность при интерпретации результатов пиролиза. Подразумевается, что катагенетическая зрелость вещества главенст-

вующим образом, зависит от температуры и давления, действующих в масштабах геологического времени. Поэтому при мощности баженовского разреза в 20–40 м на глубине залегания в 2–3 км, степень преобразованности ОВ в пределах одного разреза теоретически должна выдерживаться в крайне узком диапазоне значений.

В ходе производственных геологических работ нам приходится сталкиваться с противоречивыми результатами построения схем катагенетической зрелости ОВ при рассмотрении материалов разных авторов (например, сравнение результатов производственных работ и приведенных в работах (Фомин, 2011; Калмыков и др., 2019) и др.). Чаще всего подобные схемы показывают «пестроту» локальных изменений градаций катагенеза ОВ на незначительном расстоянии и в пределах одной и той же структуры, что нарушает общегеологические представления. Вероятно, подобная площадная неоднородность появляется в результате сложности и неоднозначности интерпретации зрелости ОВ по ключевым пиролитическим параметрам (T_{max} , HI) в случае их высокой изменчивости по разрезу. При этом результаты пиролиза, выполненного в разных лабораториях и даже на разных приборах в образцах керна одной и той же скважины, а иногда в одних и тех же образцах, хорошо сопоставляются (сравнение было выполнено авторами для крупной выборки собственных образцов). Вероятно, проблема кроется в отсутствии универсальных пересчетных диаграмм и единой методики интерпретации пиролитических данных.

Изменчивость по разрезу показателей T_{max} и HI связывается, прежде всего, с литологической неоднородностью баженовских отложений (Козлова и др., 2015). Часто баженовские породы рассматриваются как однотипные разности. Однако при более детальном изучении минерально-компонентного состава, текстур и вторичных изменений, может быть выделено до 10–15 литотипов, что обнаруживает весьма значительную литологическую дифференциацию (Дорофеева и др., 1983; Панченко и др., 2016; Калмыков, Балущкина, 2017).

Кроме того, пиролитические показатели в образцах одного и того же литотипа, но с разных стратиграфических уровней, также заметно варьируются. Это связывается с изменениями палеогеографических условий в баженовское время, что обнаруживается по комплексу литологических, палеонтологических и геохимических данных и выражается обособлением в разрезе 6 пачек, выдержанных регионально (Панченко и др., 2016). В разных пачках могут присутствовать близкие

литологические типы пород, но различающиеся по геохимии элементов-примесей. Предполагается, что различия геохимических условий литогенеза влияли на ход преобразований органического вещества.

Для корректного определения T_{max} предполагается использовать средневзвешенные значения в пробах, отобранных из литологически однородных горизонтов, максимально насыщенных ОВ (Дахнова и др., 2015, Козлова и др., 2015). Для картирования параметра T_{max} мы рекомендуем использовать его средние или медианные значения из единых стратиграфических уровней. Такой подход позволяет минимизировать геологические неопределенности при интерпретации результатов.

С учетом региональных особенностей строения баженовского горизонта (Панченко и др., 2016), можно выделить наиболее выдержанные и однородные пачки баженовских пород: «высокоуглеродистая» пачка 4а и однородные интервалы «кокколитофоридовой» пачки 5b, отвечающие периодам максимального стояния уровня моря с образованием наиболее высококонденсированных отложений, с самыми высокими концентрациями органического углерода (Сорг) и значениями радиоактивности. Данные интервалы, по нашему мнению, являются наиболее пригодными к отбору проб для анализа катагенетической зрелости ОВ. Полученная схема площадного распределения параметра T_{max} в пачке 4а (Рис. 1г) хорошо соответствует структурно-тектоническому плану Фроловской мегавпадины и не противоречит существующим геологическим представлениям.

В условиях отсутствия детального стратиграфического каркаса, но при относительно большом массиве пиролитических данных (десятки и сотни анализов), выполненных по серии скважин, можно прибегнуть также к иному упрощенному способу. Как известно, отношение пиролитических параметров S_2 (массовое количество УВ, мг/г породы, выходящих при пиролизе породы в диапазоне температур 300–600°C) к ТОС (общее содержание органического углерода, масс. %) в стратиграфически непрерывных разрезах и интервалах показывает строгую линейную зависимость, связываемую с постепенным изменением степени преобразованности сходного по составу и происхождению ОВ (Тиссо, Вельте, 1981; Дахнова и др., 2015). Следует оговорить, что для баженовских отложений центральной области Западной Сибири, мы будем принимать усредненный первоначальный углеводородный состав морского ОВ, и считать примерно одинаковым тип керогена в них к началу позднедиагене-

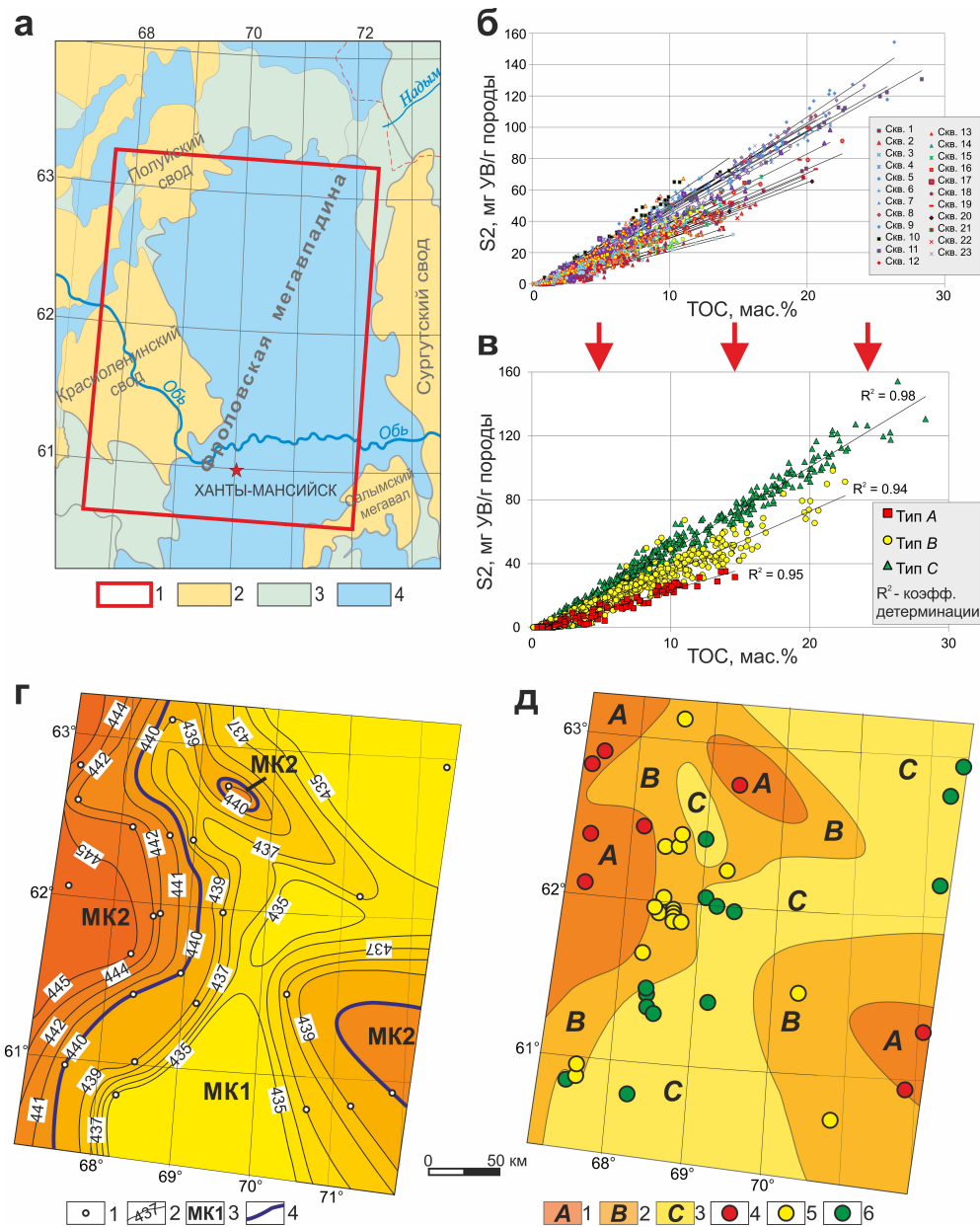


Рис. 1. Примеры вариантов построения схем по дифференциации зрелости ОБ в баженовском горизонте центральной области Западной Сибири.

- а** – расположение района для построения схем изменчивости зрелости ОБ на тектонической карте (Тектоническая карта..., 1998); 1 – область построения схем, 2–4 – тектонические элементы: 2 – положительные, 3 – промежуточные, 4 – отрицательные;
- б, в** – диаграммы отношения пиролитических параметров S2 к ТОС и распределение фигуративных точек проб из выборки разрезов 23 скважин (б), сгруппированные по характеру наклона линии тренда на три типа (в);
- г** – схема зрелости ОБ, построенная по средневзвешенным значениям пиролитического параметра T_{max} в однородных углеродистых силицитах баженовской пачки 4а, с трендом по структурному плану; 1 – расположение скважин, в разрезах которых определялся параметр T_{max}; 2 – изотермы T_{max}, °С; 3 – зоны катагенеза, по (Вассоевич, 1981); 4 – границы зон катагенеза, по (Barnard, Cooper, 1981);
- д** – схема распространения пород с различным типом преобразованности ОБ по зависимостям S2/ТОС (весь интервал баженовского горизонта), с трендом по структурному плану; 1–3 – контуры распространения пород с различным типом преобразованности ОБ: 1 – высокая преобразованность (тип А), 2 – умеренная (тип В), 3 – низкая (тип С); 4–6 – расположение скважин, в разрезах которых исследовалась зависимость между пиролитическими параметрами S2 и ТОС: 4 – разрезы, соответствующие типу А; 5 – типу В; 6 – типу С.

тических–катагенетических преобразований. В этом случае возрастание доли S2 в составе ОВ будет правомерным считать показателем степени зрелости.

Анализируя отношение S2 к ТОС по десяткам скважин в интервале баженовского горизонта в целом, мы заметили, что на графике S2/ТОС для разных крупных структурно-тектонических областей характерен свой наклон линии тренда (Рис. 1б). При этом отсутствие привязки проб к литологии может быть нивелировано обилием фигуративных точек по каждой скважине (более 10–20 определений). В таком случае, образцы с контрастной литологией вносят незначительную погрешность в наклон линии общего тренда графиков S2/ТОС. Фигуративные точки разрезов скважин с единым наклоном линии тренда были сгруппированы в типы, соответствующие различной зрелости ОВ. (Рис. 1в). Применяемое отношение S2/ТОС может использоваться так же, как и параметр $NI = S2 \cdot 100 / ТОС$. На основании полученных данных, ОВ баженовских отложений было разделено по степени зрелости на различные типы (А, В, С), без привязки к конкретным стадиям градации катагенеза. Резльтирующая схема в пределах Фроловской впадины (Рис. 1д) хорошо коррелируется с картой Tmax для баженовской пачки 4а (Рис. 1г). Обе схемы отображают единую зональность, связанную со зрелостью ОВ.

Выводы. При анализе зрелости ОВ по пиролитическим данным требуется надежная стратиграфическая привязка анализируемых интервалов и литофациальный контроль анализируемых проб. Для генерализованного анализа преобразованности ОВ в породах баженовского горизонта могут быть применены два подхода:

1. По параметру Tmax, определенному по образцам однородных углеродистых силицитов в наиболее выдержанных и однородных баженовских пачках (либо 4а, либо 5b, в зависимости от представительности выборки имеющихся проб). Для этого требуется детальное расчленение и корреляция баженовских разрезов по комплексу признаков.

2. По выявлению типовых трендов зависимости пиролитических параметров S2/ТОС либо $NI = S2 \cdot 100 / ТОС$, построенных для всего интервала баженовских отложений (в строгом соответствии выборки анализируемых проб с границами горизонта).

Наиболее достоверные результаты получаются с применением двух названных способов, что также обеспечивает взаимопроверку построений. Отметим, что в этих способах используются разные выборки проб. Необходимо учитывать, что аналитических точек

всегда будет недостаточно при любой детализации построений. Поэтому при анализе площадного распределения значений и выявлении трендов преобразованности ОВ рекомендуется опираться на структурно-тектонический план района исследований.

Предложенные методы определения степени зрелости ОВ могут использоваться при работах на других геологических объектах, где определение отражающей способности витринита затруднено или невозможно.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках проекта № 18-05-00494.

Литература

- Астахов С.М. Кинетические спектры реакций преобразования органического вещества нефтематеринских отложений // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016. Т. 11. № 1. С. 1–28.
- Вассоевич Н.Б. Современные представления об условиях образования нефти. М.: Знание. 1981. 40 с.
- Дахнова М.В., Можегова С.В., Назарова Е.С., Пайзанская И.Л. Оценка запасов «сланцевой нефти» с использованием геохимических параметров // Геология нефти и газа. 2015. № 4. С. 55–61.
- Дорофеева Т.В., Краснов О.Г., Лебедев Б.А., Петрова Г.В., Позиненко Б.В. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Л.: Недра. 1983. 131 с.
- Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. М.: ГЕОС. 2017. 247 с.
- Калмыков А.Г., Карпов Ю.А., Топчий М.С., Фомина М.М., Мануилова Е.А., Шереметьева Е.В., Третьякова И.О., Пронина Н.В., Шишков В.А., Балушкина Н.С., Фадеева Н.П., Ступакова А.В., Калмыков Г.А. Влияние катагенетической зрелости на формирование коллекторов с органической пористостью в баженовской свите и особенности их распространения // Георесурсы. 2019. № 9. С. 159–171.
- Козлова Е.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А., Балушкина Н.С., Пронина Н.В., Полудеткина Е.Н., Костенко О.В., Юрченко А.Ю., Борисов Р.С., Бычков А.Ю., Калмыков А.Г., Хамидуллин Р.А., Стрельцова Е.Д. Технология исследования геохимических параметров органического вещества керогеносыщенных отложений (на примере баженовской свиты, Западная Сибирь) // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 5. С. 44–53.
- Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения и ГИС // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 1–13.
- Тектоническая карта центральной части Западно-Сибирской плиты. М-б 1:1000000. В.И. Шпиль-

- ман, Н.И. Змановский, Л.Л. Подсорова (ред.). 1998.
- Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир. 1981. 502 с.
- Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. 331 с.
- Barnard P.C., Cooper B.S. Oils and source rocks of the North Sea area // L.V. Illing, G.D. Hobson (eds). Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe. London: Institute of Petroleum, 1981. P.1 69–175.

Approaches to assessing the maturity of organic matter in the Bazhenovo formation according to a comparison of pyrolytic parameters, lithology and stratigraphy of sections

Gusev I.M., Panchenko I.V., Smirnova M.E., Taldykin Y.B., Kulikov P.Yu.

“Modeling and monitoring of geological objects named after V.A. Dvurechensky” JSC, Moscow;
gusev@mimgo.ru; panchenko@mimgo.ru

Two methods proposed for determining the degree of maturity of organic matter from the data of pyrolytic parameters (RockEval / HAWK) in oil-bearing rocks of the Bazhenovo formation. The first method involves determining the T_{max} values in samples collected from the most homogeneous package 4 of the Bazhenovo formation. The second method uses the increasing value of the pyrolytic parameter HI (= S₂/TOC), as a measure of OM maturity. This may be correct due to relatively the same initial composition of the marine OM and the type of kerogen in the Bazhenovo horizon at the beginning of catagenetic transformations. The best results can be achieved using both methods in combination. The proposed methods for determining the degree of OM maturity can be used for other geological objects, where the determination of the vitrinite reflectivity is difficult or impossible.