

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА ЕЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ**

Т.А. Коровина, Е.П. Кропотова, С.В. Гульятёв, И.Л. Крицкий, С.В. Шадрин  
Тюменское отделение «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз», г.Тюмень,  
e-mail: Korovina\_TA@surgutneftegas.ru

Баженовская свита является одним из наиболее изучаемых продуктивных объектов Западной Сибири по числу высококвалифицированных исследователей и детальности, с которой она изучалась. Однако нужно признать, что, несмотря на значительные усилия, большая их часть так и не смогла перейти из научной стадии в стадию практическую. И лишь в последние годы наметилась устойчивая тенденция к их разрешению. В этой связи следует отметить методологически важные для Западной Сибири работы геофизиков В.В. Хабарова (Хабаров, 2001) по интерпретации и параметризации коллекторов в разрезе баженовской свиты по данным ГИС, Н.М. Белкина, В.И. Ибраева по интерпретации данных сейсморазведки (Белкин, Ибраев, 2003; Ибраев, 2006), М.Ю. Зубкова с соавторами по лабораторному моделированию напряжений в осадочных комплексах (Зубков и др., 2004) и т.д. Этому предшествовал прорыв в области теории механохимических процессов – в конце прошлого века механохимия из эмпирической и технологической превратилась в научную со своей полной теоретической базой (Авакумов, 1986).

Применение для интерпретации процессов преобразования битуминозных пород современных представлений о напряженных состояниях вещественных систем (породообразующий комплекс, кероген, нефть) позволили на базе полученных результатов исследования их состава, текстурных, физико-химических (преимущественно термогравиметрических и теплофизических) характеристик и геохимического облика керогена предложить механохимическую модель формирования коллекторов в баженовской свите (Коровина, 2004).

Баженовская свита представляет собой толщу органо-минеральную по составу, хемогенную и тектонозависимую по механизму формирования, находящуюся в стадии эндогенного преобразования.

В первом приближении баженовская свита по отношению к подстилающим и перекрывающим ее отложениям является пластичной. Известно, что пластические деформации по сравнению с упругими более энергоемкие. По отношению к геохимическим процессам это означает, что они протекают при более низких температурах, чем в условиях классических термодинамических систем. Растворимость

веществ (минералов), скорость и направление реакций также регулируются механическим воздействием через различные виды деформаций, среди которых пластическая – наиболее эффективна. Кроме того, в литифицированном состоянии баженовская толща в первом приближении является системой несопряженной. Литологическая неоднородность отложений приводит к сочетанию пластически деформируемой толщи в целом с упругими деформациями на отдельных ее участках. Преимущественно в глинистых разностях одновременно с образованием углеводородов формируются ослабленные участки с матричной (псевдогранулярной) и микротрещинной пустотностью, в радиоляритах – дополнительно макротрещинная (в напряженных зонах при превышении предела прочности породы в результате тектонического воздействия). В зонах макротрещиноватости развиваются эндогенные процессы, среди которых наиболее значимыми являются карбонатизация и силицитизация.

Механохимическая модель зависит от двух факторов, дополняющих и усиливающих друг друга: с одной стороны, это нарастающее горное давление (статический фактор), а с другой, – зависимое от тектонических процессов изменяющееся перераспределение пластических и упругих напряжений в породе (динамический фактор). На первом этапе, попадая в область повышенных температуры и горного давления, кероген генерирует первичную микроневфть, которая заполняет микропорово-трещинное пустотное пространство битуминозной породы, образуя его структуру в результате автофлюидоразрыва.

На втором этапе уже сформированная и заполненная консолидированной нефтью система первоначального коллектора, представленная в виде замкнутых до 2–3 мм зон автофлюидоразрывных микротрещин и пор (рис. 1), объединяется в промышленный коллектор возникающей системой субгоризонтальных и субвертикальных трещин. Толчком к этому является тектонический процесс, при котором порода претерпевает механические воздействия уже за пределами ее прочности (рис. 2).

Очевидно, что при отсутствии динамического потенциала к образованию трещинного коллектора статический потенциал керогена исчерпается автофлюидоразрывной микропустотностью, и его преобразование остановится. В битуминозном разрезе баженовской свиты это наблюдается по разрезу и наиболее ярко по площади, нарушая ранее принятые температурные критерии прогноза промышленной продуктивности толщи. Процессы диффузии, эмиграции и аккумуляции нефти в

коллекторе происходят, в основном, за счет динамического фактора перераспределения напряжений и создаваемого ими трехмерного градиента эффективных давлений в пустотном пространстве низкопроницаемого коллектора (рис. 3).

Здесь возможны два варианта: в первом случае макротрещины не выходят за пределы свиты (миграция углеводородов в подстилающие и покрывающие проницаемые породы невозможна, система остается замкнутой), во втором случае они нарушают замкнутость системы (возможна миграция за пределы свиты). Формирование залежей нефти в пласте Ю<sub>0</sub> (битуминозные отложения) происходят только по первому варианту. Промышленные коллекторы пласта Ю<sub>0</sub> баженовской свиты – трещинные и кавернозно-трещинные. Пустотное пространство представлено микрокавернами, возникающими в результате вторичного минералообразования, и пустотами со сложной морфологией, возникающими в результате минерального замещения преимущественно органических остатков. Но образование пустотного пространства за счет вторичного минералообразования имеет подчиненный характер.

Природа промышленной нефтеносности битуминозных отложений баженовской свиты обусловлена процессами механохимического преобразования битуминизированного минерального комплекса в активной тектонозависимой системе. С одной стороны, они приводят к образованию коллекторов сложного типа (сочетание матричного микротрещинного или псевдогранулярного, трещинного и кавернозно-трещинного), а с другой, – к катагенетическому преобразованию керогена с постепенным накоплением и перераспределением углеводородов. Наблюдения показывают, что величина теплового потока и пластовые температуры не определяют продуктивность битуминозного разреза баженовского типа. Для баженовской свиты пластовые температуры не являются отражением внутренней энергии системы породообразующего комплекса битуминозной породы. Если тектонические напряжения не привели к образованию трещинного коллектора и(или) не создали путей миграции, то углеводородообразование в керогене тормозится вне зависимости от температуры. Так, Ульяновское месторождение с температурой более 115 °С характеризуется несопоставимой продуктивностью по сравнению с Айпимским и Западно-Камыньским, где температуры ниже 100 °С (рис. 4). Анализ параметров керогена по 213 скважинам в Широтном Приобье Западной Сибири показал, что степень преобразованности керогена, определяемая соотношением ТОС и S<sub>2</sub>, контролируется пространственным положением

скважины. Причем, это соотношение не зависит ни от размера выборки образцов в ней, ни от сохранности керна, ни от меняющегося содержания и возможно типа керогена по разрезу – коэффициент корреляции  $R^2$  при ТОС более 3–5% изменяется от 0,74 до 0,93. При более низких ТОС возрастает размер ошибки определения самого параметра по методу Rock Eval. На рис. 4 приведен пример, позволивший сформулировать основные подходы к прогнозированию коллекторов в баженовской свите и ее аналогах в Западной Сибири (Коровина, Марков, 2000; Коровина, 2004). Было доказано, что кероген является универсальным индикатором механохимических процессов формирования и углеводородных залежей, и вмещающих их коллекторов (ловушек преимущественно тектонической природы). Оценка может производиться от месторождения (площади) к месторождению и внутри месторождения от скважины к скважине.

Впоследствии, на основании этой модели разработан способ картирования зон перспективной продуктивности битуминозных отложений баженовского типа для Западной Сибири.

Баженовская свита в широком смысле является ключом к пониманию природы нефтегазоносности Западной Сибири. Прежде всего, это нефтематеринская толща с высоким генерационным потенциалом, как реализованным, так и сохраняющимся, с температурами классического нефтяного окна. С другой стороны, это региональный флюидоупор, геомеханическая модель которого отличается уникальной для осадочного чехла Западной Сибири пластичностью и анизотропией прочностных свойств. Больше половины тектонических разломов постюрского времени «гасятся» в ней, принося в эту систему колоссальный энергетический потенциал. Третьей особенностью этих отложений является описанная выше способность при абсолютно низких фильтрационно-емкостных свойствах образовывать эффективные коллекторы с высокими промышленными кондициями, с аномально высокими пластовыми давлениями, восстанавливающими свою аномальность в течение длительных сроков эксплуатации месторождений. Изучение каждого из перечисленных аспектов в отдельности привело к возникновению и в определенной степени игнорированию ряда противоречий, на некоторых мы остановимся ниже.

Принято приводить подтверждающее сравнение состава породообразующего комплекса баженовской свиты и сланцев преимущественно месторождения Bakken (Афанасьев и др., 2010; Г.А. Калмыков, 2013 г.; Немова, 2012). Но сланцы представляют

собой терригенную породу, а отложения баженовского типа – хемогенную, органогенную. Содержание обломочных зерен во всех литотипах баженовской свиты не превышает 7%, представлены они преимущественно полевыми шпатами и кварцем, размером – до 0,02 мм. Это противоречит представлениям о среднем минеральном составе породообразующего комплекса с примерно равным содержанием глинистых минералов (гидрослюда, хлорит, каолинит и смешаннослойные образования гидрослюда-монмориллонитового ряда), керогена, карбонатов, при незначительном преобладании кварца.

Современные методы сканирующей электронной микроскопии позволили восстановить картину минералообразования в битуминозной породе – цикличной, многоэтапной смены псевдоморфоз перечисленных минералов один по другому в остатках биоты донных некротических отложений (рис. 5).

Возникает вопрос о необходимости пересмотра начальной толщины органогенных донных осадков в баженовском море – при всех общепринятых пересчетах она становится сопоставимой с его глубиной. Появляется парадокс, природа которого, на наш взгляд, кроется в интерпретации источников ТОС ( $C_{орг}$ ).

Второй парадокс касается необъяснимо высокого содержания органического вещества, выходящего за рамки вещественного баланса между осадком и породой.

Детальный анализ химического состава битуминозных пород по керну и применение дискриминационных диаграмм для интерпретации его результатов выявили существенную роль эндогенных факторов в формировании современного облика пород. Следы гидротермальных процессов обнаружены не только в областях трещиноватости, но и в низкопроницаемых прослоях, не затронутых трещино- и каверно-образованием. Это третий парадокс – на протяжении всего времени существования баженовской свиты в ней активно протекали геохимические процессы, в том числе и эндогенные, которые предполагают привнос и вынос вещества, то есть его перераспределение в низкопроницаемой породе.

Итак, неизвестный источник органики, длительное время сохраняющаяся локальная сопряженность системы при региональной изолированности, тектонозависимость, колоссальная концентрация внутренней энергии и известная обусловленность в распространении залежей нефти внутри битуминозного разреза.

## ЛИТЕРАТУРА

*Авакумов В.Г.* Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 356 с.

*Афанасьев И.С., Гаврилова Е.В., Бирун Е.М., Калмыков Г.А., Балушкина Н.С.* Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». 2010. № 4. С. 20-25.

*Белкин Н.М., Ибраев В.И.* Прогноз напряженного состояния верхнеюрских отложений по комплексу ГИС-сейсморазведка на Ай-Пимском месторождении // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2003. С. 233-240.

*Зубков М.Ю., Портмейстер Я.А., Николук В.И.* Прогноз углеводородных залежей на основе тектонофизического моделирования на примере Славинского месторождения // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2004. С. 114-132.

*Ибраев В.И.* Прогнозирование напряженного состояния коллекторов и флюидоупоров нефтегазовых месторождений Западной Сибири. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2006. 208 с.

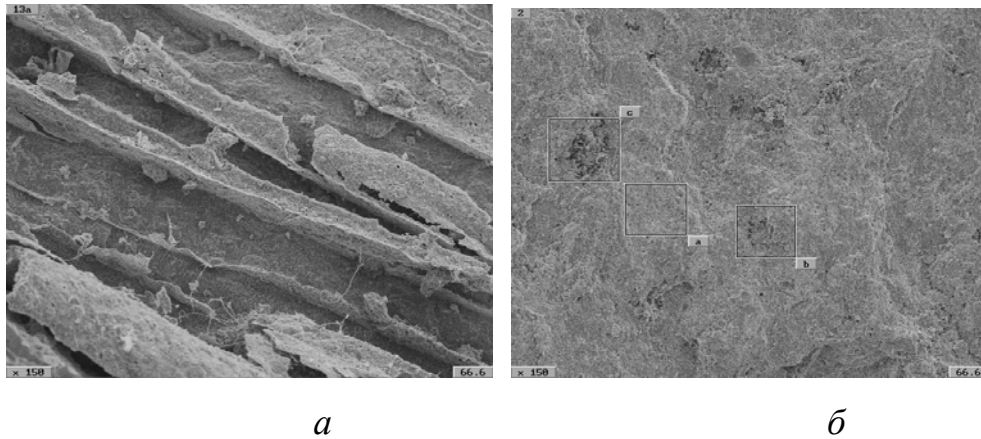
*Коровина Т.А., Марков В.В.* Окислительно-пиролитический метод изучения конденсированного органического вещества (керогена) в горных породах // Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах: Материалы II Всерос. конф. Воронеж: изд-во ВГУ, 2004. С. 105-107.

*Коровина Т.А.* Закономерности формирования и распространения коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты для оценки перспектив нефтегазоносности западного склона Сургутского свода. Автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. СПб.: ВНИГРИ, 2004. 27 с.

*Немова В.Д.* Литология и коллекторские свойства отложений баженовского горизонта на западе Широкого Приобья. Автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. М., 2012. 23 с.

*Хабаров В.В.* Патент 2166780 РФ. Способ поиска углеводородов в нефтематеринских породах. № 2000102845/28; Заявл. 04.02.2000; Опубл. 10.05.2001.

## ПРИЛОЖЕНИЕ



*a* *б*

Рис. 1. Электронномикроскопические снимки битуминозного силицита:  
*a* – с микротрещинной пустотностью, подчеркнутой выделениями серы;  
*б* – с поровой пустотностью (*b, c*). Увеличение 150<sup>x</sup>

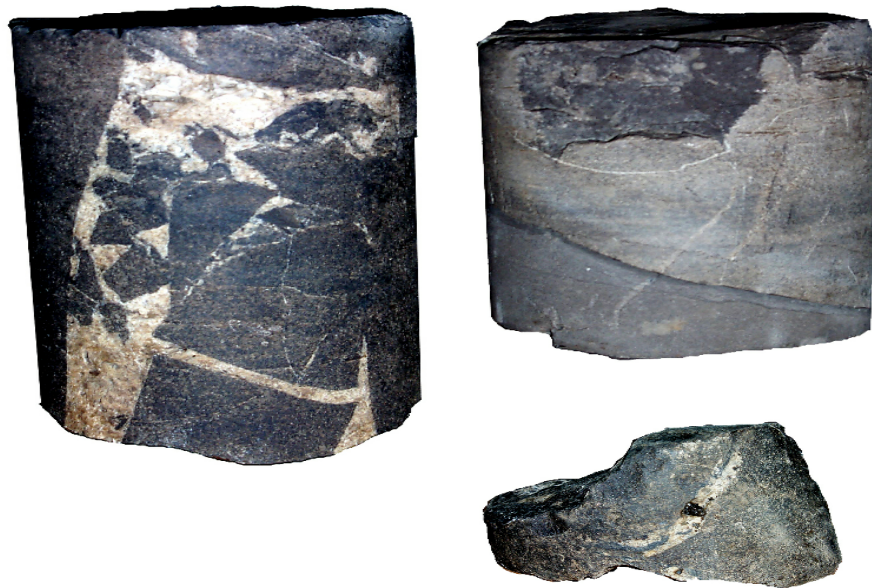


Рис. 2. Тектонические трещины в битуминозном разрезе бажендовской свиты



Рис. 3. Трещины напряжения в тонколистовато-чешуйчатом глинисто-карбонатно-кремнистом литотипе пород баженовской свиты

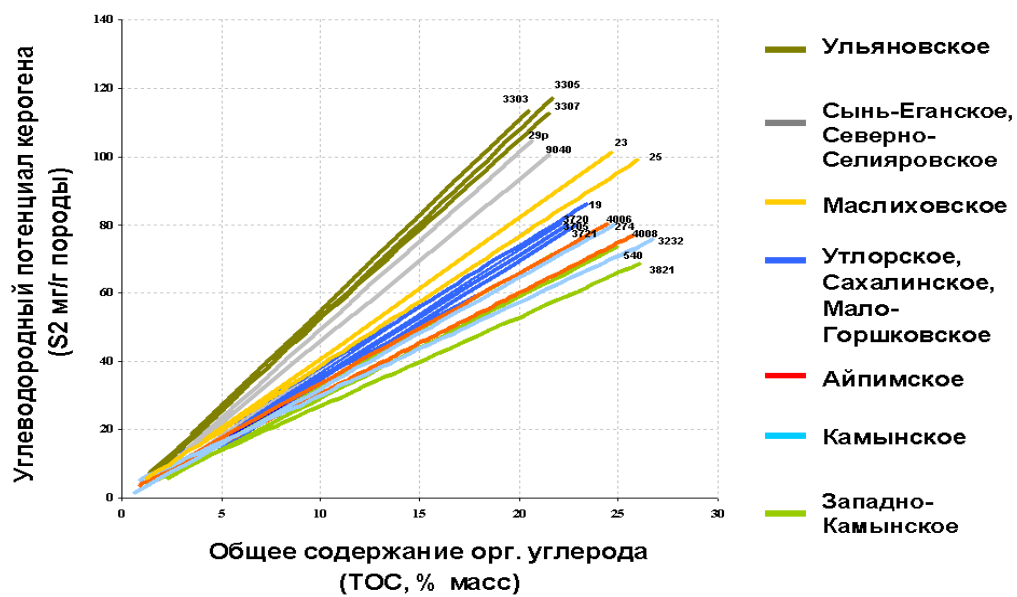


Рис. 4. Сравнительный анализ параметров керогена в баженовской свите по скважинам и месторождениям (Коровина Т.А., 2004)



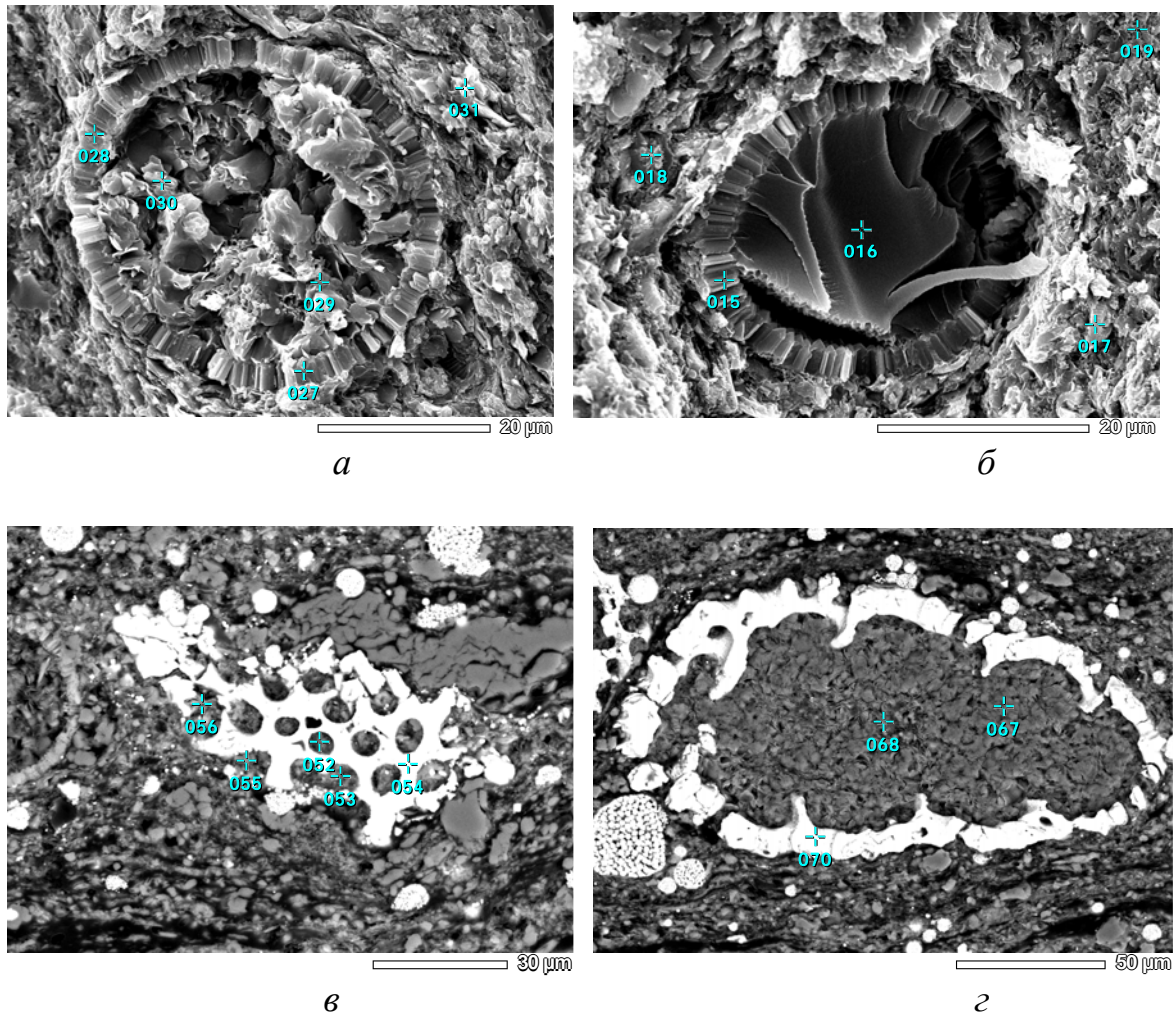


Рис. 5. Электронномикроскопические снимки минеральных замещений:  
*а* – криптокристаллический кварц по аморфному кремнезему (точки 027, 028), аутигенная гидрослюда (точки 029, 030); *б* – кероген по акваорганическому веществу (точка 016), криптокристаллический кварц по аморфному кремнезему (точка 015); *в* – кальцит по аморфному кремнезему радиолярий (точка 054), аутигенные гидрослюда и хлорит в полостях радиолярий (056, 055, 052, 053), пиритизация обломка радиолярии сверху и справа; *г* – каолинизация (068 и 067) карбонатизированного (070) обломка радиолярии (*в* и *г* – сферические агрегаты (до 30  $\mu\text{m}$ ) и отдельные микроформы (до 3–5  $\mu\text{m}$ ) пиритизированных сульфатредуцирующих бактерий вокруг обломков радиоляритов)