

## **БАЖЕНОВСКАЯ СВИТА – ГЛАВНЫЙ ИСТОЧНИК РЕСУРСОВ НЕТРАДИЦИОННОЙ НЕФТИ В РОССИИ**

А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, В.А. Казаненков, В.А. Конторович,  
Е.А. Костырева, Е.В. Пономарева, С.В. Рыжкова, П.А. Ян  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука,  
e-mail: mail@ipgg.sbras.ru

Баженовская свита (первоначально «пачка») как геологическое тело в разрезе мезозоя Западно-Сибирского осадочного бассейна впервые была выделена в 1959 г. Ф.Г. Гурари. Он же два года спустя высказал предположение о наличии в баженовской свите трещинных коллекторов и возможности обнаружения в них залежей нефти [Гурари, 1961]. Это предположение вскоре было подтверждено на территории деятельности Правдинской НРЭ Тюменского геологического управления, которой руководил Ф.К. Салманов. Первый промышленный приток нефти из баженовской свиты был получен в апреле 1967 г. при бурении скв. 12. Ф.К. Салманов, Г.Р. Новиков и А.А. Тяна детально проанализировали геологические результаты того времени и выполнили первую оценку перспектив нефтеносности баженовской свиты.

Открытие промышленных притоков легкой, высококачественной нефти из баженовской свиты сразу вызвало повышенный интерес геологов к этому объекту. Геологии, нефтеносности и методике разработки залежей нефти баженовской свиты Западной Сибири посвящены работы Т.И. Гуровой, Ф.Г. Гурари, М.В. Дахновой, В.М. Добрынина, Ю.Н. Карогодина, Т.Т. Клубовой, А.Э. Конторовича, С.Г. Неручева, И.И. Нестерова, Г.Р. Новикова, Г.Э. Прозоровича, Е.А. Рогозиной, Ф.К. Салманова, Г.П. Сверчкова, В.С. Славкина, А.А. Трофимука, А.В. Тяна, И.Н. Ушатинского, Э.М. Халимова и многих других исследователей. Значительный вклад в изучение баженовской свиты внесли научные школы СНИИГГиМС, ЗапСибНИГНИ, ИГГ АН СССР (в настоящее время ИНГГ СО РАН), ИГИРГИ, ВНИГРИ, ВНИГНИ и ряда других организаций.

В настоящее время, когда добыча нефти в традиционных залежах нефти в Западно-Сибирском бассейне падает, баженовская свита становится главным объектом потенциального прироста запасов и добычи нефти.

По литологии, геохимии, роли в нефтегазоносности Западной Сибири, генезису баженовская свита – объект совершенно особый. Прежде всего, это не имеющее аналогов в Западной Сибири (и немного аналогов в мире), огромное по площади распространения

гигантское накопление органогенных пород, в прошлом – органогенных осадков. Образование осадков, сформировавших баженовскую свиту, – это результат захоронения продуктов жизнедеятельности организмов в Западно-Сибирском, относительно глубоком эпиконтинентальном море, в поздней юре – огромном заливе, окруженном пенебленизированной равнинной сушей. Органическое вещество баженовской свиты – кероген – само по себе объект также исключительный. Он представляет собой комплекс полимерлипидов былых липидов планктона, бактерий и архей.

Баженовская свита – уникальное скопление углеводородистого органического вещества (керогена) и нефти, а также серы, урана, ванадиевых порфиринов – наследников бывшего хлорофилла. Хотя породы баженовской свиты с конца пятидесятих годов XX века, более полувека, изучают многие выдающиеся геологи, палеонтологи, литологи и геохимики, задача исследования такого объекта и сегодня исключительно сложная. В этой связи методике изучения пород баженовской свиты должно быть уделено особое внимание.

В ходе исследований, проводимых ИНГГ СО РАН, был подтвержден сложный литологический, изначально преимущественно органогенный состав пород баженовской свиты. Породообразующими в ней являются биогенное перекристаллизованное кремнистое вещество – силициты, глинистый материал, кероген, карбонаты, пирит. Соотношение этих компонентов меняется в широких пределах. Впервые было установлено, что породы баженовской свиты обогащены барием и в них идентифицирован барит.

Сильная корреляционная связь содержаний органического углерода и урана в баженовской свите известна давно. Это позволило И.И. Плуману и, позднее, Ф.Г. Гурари, В.И. Москвину, В.А. Конторовичу использовать радиоактивный каротаж для картирования средних содержаний органического углерода в баженовской свите. В настоящей работе процедура обработки результатов ГИС применена для определения закономерностей вертикального распределения органического углерода в разрезах отдельных скважин. Сопоставление результатов интерпретации данных ГИС и аналитических исследований разрезов скважин с полным отбором керна баженовской свиты показало высокое совпадение замеров по керну и данных ГИС. Это позволило на огромном количестве скважин изучить распределение керогена по разрезам баженовской свиты.

В программе работ ИНГГ в качестве объекта исследований (эталона) на первом этапе был выбран участок на территории Мансийской синеклизы площадью около 40 тыс. км<sup>2</sup>.

Для эталонного участка были построены карта толщин пород с современным содержанием органического углерода в породах более 7%, карта содержаний органического вещества в породах баженовской свиты к началу катагенеза и карта современного его катагенеза.

Карбонатно-глинисто-кероген-кремнистые породы баженовской свиты за свою (без малого, 150 млн лет) историю пережили сложную эволюцию. В процессе эволюции бассейна породы баженовской свиты и ее аналогов погрузились на глубины от 1200 м до 3000 м. Это способствовало уплотнению пород и возрастанию температур до 100–150 °С. При таких температурах происходили катагенетические изменения пород и деструкция керогена, которая привела к генерации и миграции огромной массы флюидов нефти и углеводородных газов, а также неуглеводородных летучих компонентов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>).

Для понимания закономерностей размещения нефтяных скоплений в баженовской свите ценную информацию дает численное моделирование процессов генерации нефти (Н.Б. Вассоевич, 1967 г.; А.Э. Конторович и др., 1967 г.; 1976 г.; 2013 г.; Конторович и др., 1974–1975).

Численное моделирование процессов генерации нефти на эталонном участке в центральной части Западной Сибири показало, что главная фаза генерации жидких углеводородов и углеводородных газов в баженовской свите на территории исследования началась около 95 млн лет тому назад в сеномане, она охватила склоны Хантейской антеклизы около 45 млн лет тому назад, а на Сургутском своде продолжается до сих пор.

Выявлена плотность генерации битумоидов и углеводородных газов в баженовской свите в мезокатагенезе, млн т/км<sup>2</sup>. В наиболее мощных очагах генерации за это время органическое вещество баженовской свиты генерировало 6–10 млн т/км<sup>2</sup> битумоидов и углеводородных газов.

В зависимости от уровня катагенеза кероген баженовской свиты реализовал свой генерационный потенциал от первых процентов – на Сургутском своде до 85–90% на Салымском куполовидном поднятии.

Оценки показали, что начальная масса керогена на площади эталона составляла 432,6 млрд т, современная – 307,4 млрд т. Потери массы керогена в катагенезе равны 125,3 млрд т.

В результате деструкции керогена образовалось 104,9 млрд т битумоидов и 20,3 млрд т неуглеводородных летучих продуктов –  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ .

Заметим, что образование химически активных неуглеводородных компонентов обычно не учитывается при реконструкции постдиагенетических преобразований пород баженовской свиты и при палеогидрохимических реконструкциях.

За счет перехода (при химической деструкции) значительной части керогена из твердого в жидкое и газообразное состояния в породах баженовской свиты сформировались вторичная пустотность (поровое пространство) и огромные скопления в этом поровом пространстве нефти.

Как известно, лабораторное определение пористости и проницаемости пород баженовской свиты представляет огромные сложности, так как при бурении и пробоподготовке большая часть керна разрушается. По этим причинам традиционные методы определения открытой пористости при изучении баженовской свиты обычно неприемлемы. В ИНГГ СО РАН предложен оригинальный метод определения открытой пористости пород баженовской свиты. Метод позволил выполнить измерения пористости и массы нафтидов в открытых порах пород баженовской свиты.

В результате отхода от традиционной схемы экстракции пород баженовской свиты было показано, что в основном битумоиды баженовской свиты являются аллохтонными, т.е. содержатся в открытых порах и представляют собой легкую или тяжелую нефть и мальту.

Анализ аналитических данных позволил разделить по результатам лабораторных исследований, а также ГИС породы баженовской свиты на две группы: «высокоемкие» (со средней пористостью по изученной выборке 8,7% и разбросом значений пористости от 7% до 12%) и «низкоемкие» (со средней пористостью 4,3% и разбросом значений пористости от 2 до 7%). По данным ГИС были построены карта толщин пород с пористостью выше 7% и карта толщин «низкоемких» пород в составе баженовской свиты.

Известно, что в баженовской свите, наряду с поровым и каверно-поровым типом коллектора, имеет место и трещиноватый коллектор. Особенно это характерно для карбонатных и силицитовых прослоев мощностью до 4–5 м, которые установлены во многих районах.

Лабораторными экспериментами на керне установлено, что листоватость и трещиноватость пород баженовской свиты значительно больше, чем это предполагалось и

описывалось ранее. Было показано, что слоистость и трещиноватость этих пород маскируется битумным цементом, который цементирует эти трещины. Была объяснена природа пустотности и «листоватости» пород баженовской свиты.

Аналитические работы с керном показали, что в открытых порах пород баженовской свиты на эталонном участке в настоящее время находится 63,1 млрд т нефтидов, или 60,2% от массы нефтидов, которые генерировало органическое вещество баженовской свиты. Из этой массы 49,1 млрд т, или 46,8%, находятся в «высокоемких» коллекторах.

Масса адсорбированных и абсорбированных в матрице пород остаточных битумоидов равна 6,8 млрд т или 6,5% от массы нефтидов, которые генерировало органическое вещество баженовской свиты.

Знание массы генерированных битумоидов, массы нефтидов в открытых порах, и массы остаточных автохтонных битумоидов позволяет по их разности определить количество эмигрировавшей нефти. На эталонном участке из баженовской свиты эмигрировали в верхнеюрский и нижнемеловые песчаные резервуары 35 млрд т нефти, или 33,4% нефтидов, которые генерировало органическое вещество баженовской свиты.

Как это предвидели еще в шестидесятые годы прошлого века Н.Н. Ростовцев, И.И. Нестеров, А.А. Трофимук и А.Э. Конторович, большая часть нефти, вовлеченной в процессы первичной миграции, осталась в открытом поровом пространстве самой этой толщи (около 65%), и только 35% образовавшейся нефти эмигрировало за пределы баженовской свиты, в горизонт Ю<sub>1</sub> верхней юры и в песчаные пласты резервуаров баррема-апта.

Теоретические соображения, эмпирический анализ закономерностей размещения скоплений нефти и газа в баженовской свите, привлечение публикаций по этой теме позволили сформулировать следующие критерии качественного прогноза нефтеносности баженовской свиты:

- значительная (не менее 15 м) толщина этой свиты (по Ф.Г. Гулари);
- высокая концентрация органического вещества в породах (по Ф.Г. Гулари, А.Э. Конторовичу, В.И. Москвину, И.И. Нестерову, Г.Р. Новикову, Ф.К. Салманову, А.В. Тяну);

- развитие седиментационной микроструктуры, приводящей при катагенезе органического вещества к листоватости, автофлюидоразрыву слоев и формированию баженитов (по Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовичу, И.И. Нестерову);
- наличие над и под баженовской свитой достаточно мощных пачек глинистых пород, изолирующих нефтепроизводящие породы и бажениты от песчаных резервуаров углеводородов (по Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовичу, И.И. Нестерову, И.Н. Ушатинскому, М.Д. Хуторскому);
- катагенез органического вещества в породах баженовской свиты, характерный для второй половины главной зоны нефтеобразования (конец МК<sub>1</sub><sup>1</sup>, МК<sub>2</sub>);
- высокие современные температуры пород в зонах развития нефтеносности и баженитов.

Совместное использование этих критериев позволяет районировать территорию распространения баженовской свиты по степени перспективности на нефть.

При изучении прогностической роли перечисленных выше критериев с учетом температуры пород баженовской свиты установлено, что в пределах перспективных на нефть участков баженовской свиты коэффициент успешности скважин при росте температуры от 89–90 °С до 130–140 °С растет от 0,38 до 0,80. Одновременно растет вероятность получения в горизонтальной скважине дебита более 1 т / сут.

Разработана легенда карты вероятной успешности поисково-разведочных работ и дебитов скважин более 1 т/сут.

Знание распространения в районе исследований «высокоемких» пород, изменений их средней пористости и факт полного заполнения открытых пор пород нефтью позволили авторам предложить экспериментально обоснованный метод определения начальных геологических ресурсов нефти в баженовской свите.

С учетом всех изложенных выше результатов была выполнена вероятностная количественная оценка ресурсов нефти в баженовской свите в целом. Согласно оценке в районе распространения баженовской свиты в ней сосредоточено 150–500 млрд т геологических ресурсов нефти, в том числе в «высокоемких» коллекторах – 120–400 млрд т. Такой большой разброс значений обусловлен тем, что на данном этапе коэффициент аккумуляции «вторично» мигрировавшей нефти был оценен сугубо предварительно. Учитывая, что обычно при оценке запасов нефти баженовской свиты условно принимается коэффициент извлечения нефти 0,15, можно предварительно оценить

извлекаемые ресурсы нефти баженовской свиты в 18–60 млрд т. При проведении детальных исследований точность и надежность оценки может быть существенно увеличена.

Таким образом, баженовская свита Западной Сибири содержит огромные ресурсы нефти. Это осознали уже многие нефтяные компании. Интересные и перспективные работы по созданию технологий поисков, разведки и разработки баженовской нефти в последние годы выполнили компании Лукойл, РИТЭК, Роснефть, Газпром нефть.

Однако ни одна из проблем, с которыми связана организация эффективной добычи нефти из баженовской свиты, не может считаться решенной.

Сформулируем первоочередные задачи. Необходимо в кратчайшие сроки:

- разработать методику выявления и картирования объектов, в которых локализованы залежи нефти в баженовской свите;
- создать методику выявления по данным ГИС нефтепродуктивных интервалов баженовской свиты;
- создать и апробировать в ГКЗ России эффективную методику разведки и подсчета запасов нефти в баженовской свите, а также методики определения подсчетных параметров залежей по данным исследования керна и ГИС;
- разработать рациональный и эффективный комплекс ГИС для баженовской свиты;
- разработать методы оценки ресурсов нефти в баженовской свите;
- разработать, опираясь на российский и мировой опыт, технологии разработки залежей нефти в баженовской свите с использованием горизонтального бурения, гидроразрыва пластов и других методов интенсификации и обеспечения стабильности дебита скважин.

Решение перечисленного комплекса задач возможно только при высочайшем уровне научного сопровождения с использованием новейшего оборудования.

При решении этих задач баженовская свита, несомненно, будет главным геологическим объектом, на который может опираться добыча нефти в России во второй четверти XXI века.

Нужно также учитывать высокие перспективы нефтеносности близких по геологической природе и таких же уникальных объектов. Это – доманик Восточно-Европейской платформы, куонамская свита в восточной части Сибирской платформы, кумские мергели Предкавказья.

## ЛИТЕРАТУРА

*Конторович А.Э., Полякова И.Д., Стасова О.Ф.* и др. Органическая геохимия мезозойских нефтегазоносных отложений Сибири. М.: Недра, 1974. 189 с.

*Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К.* и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 697 с.