УДК 553.983

К.В. Стрижнев
д–р техн. наук
ЗАО «Ханты–Мансийский Нефтегазовый Союз»
генеральный директор

Д.Е. Заграновская
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт–Петербург)
эксперт по оценке запасов нетрадиционных коллекторов
Zagranovskaya.DE@gazpromneft–ntc.ru

В.В. Жуков
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт–Петербург)
начальник управления проектов нетрадиционных запасов

Выделение перспективных нефтегазоносных площадей для нетрадиционных коллекторов баженовской свиты

Наиболее подвержены вторичным изменениям в баженовской свите прогретые участки, которые контролируются площадью аномалий кислых экструзивных куполов в породах фундамента, зонами разломов, а также выступами фундамента в областях с отсутствием нижней покрышки для среднеюрских отложений. Только после возникновения в баженовской свите вторичной пористости при гидротермально-метасоматических преобразованиях, породы могут приобретать высокие фильтрационно-емкостные характеристики, которые носят зональный характер

Most susceptible to secondary changes in the Bazhenov Suite warmed plots, which are controlled by the area of the anomalies acidic extrusive domes in the rocks of the basement fault zones and basement in areas lack the bottom of the tires to middle Jurassic sediments. Only after the emergence in the Bazhenov Suite of secondary porosity during hydrothermal-metasomatic transformations of the breed can purchase the high porosity and permeability characteristics, which are zonal in nature

Ключевые слова: баженовская свита; нефтематеринские породы; зрелость пород; экструзивные купола; нетрадиционный коллектор; радомская свита
Keywords: the Bazhenov formation; source rocks; maturity rocks; extrusive domes; unconventional reservoir; RadomskiSuite

Более 50 лет прошло с момента открытия залежей нефти в уникальных, нетрадиционных битуминозных отложениях баженовской свиты (БС) Западной Сибири. Известно более 70 месторождений с промышленными запасами нефти в этих отложениях, но до сих пор нет обоснованной модели их строения. В БС ни одна из залежей полностью не закончена разведкой, нет залежей с обоснованным контуром продуктивности и достоверно определенными подсчетными параметрами (площадь нефтеносности, эффективная толщина, пористость), используемыми в традиционном (объемном) методе. Открытие новых залежей в верхнеюрской БС все еще остается случайным событием.

Различная продуктивность скважин в БС обусловливает проблемы при разведке и разработке подобных залежей.

До сих пор нет унифицированной, практически приемлемой методики оценки как геологических, так и извлекаемых запасов нефти. Оценка запасов нефти в этих отложениях варьирует в недопустимо широких пределах – от 30 млрд т до 600 млн т. Опыт промышленной разработки Салымского месторождения и последующих залежей Сургутского, Надымского нефтегазоконденсатных районов свидетельствует об отсутствии рентабельных технологий разработки этого типа нефтяных залежей.

Официально геологические и извлекаемые запасы нефти в баженовских отложениях рассматривались в ГКЗ в 1986 г., в период пробной эксплуатации Салымской группы месторождений. По одному и тому же участку пробной эксплуатации геологические и извлекаемые запасы были представлены двумя моделями, одна из которых – модель так называемых «рыхлых» и «плотных» баженитов, и вторая – модель коллектора трещинного и трещинно-порового типа. Приняли первую модель коллектора, хотя в конечном варианте извлекаемые запасы оценивались методом материального баланса. Был оценен вес каждой атмосферы падения пластового давления в виде объема (количества) реально добытой нефти. Представленные извлекаемые запасы уменьшились по этому методическому подходу к подсчету запасов в 34 раза, запасы нефти, оцененные по модели трещинного и трещинно-порового типа были увеличены в 2,5 раза [5].

Вопрос оценки запасов нефти БС до сих пор не решен. В настоящее время не существует методик, позволяющих объективно оконтурить залежи нефти в отложениях БС. Оконтуривание залежей производится по данным скважинной информации и находится в прямой зависимости от изученности исследуемого объекта бурением. По подсчету запасов нефти, представленных в ГКЗ по данным объектам, залежи ограничиваются лишь километровой зоной вокруг скважин, давших промышленные притоки нефти по категории C_1, а вся площадь лицензионного участка относится к категории C_2 или остается прогнозными ресурсами.

При постановке на баланс запасов нефти по вновь открытым залежам действуют следующие критерии и параметры подсчета:

– эффективная нефтенасыщенная толщина берется по данным бурения как 1/3 от общей толщины свиты;

– к коллекторам относятся пласты с общей пористостью более 10 (в некоторых случаях 8%);

– коэффициент нефтенасыщенности ($К_н$) принимается равным 0,9, в некоторых случаях 0,8;

– модель коллектора рекомендуется чаще всего как поровая или трещинно-поровая.

Реальная практика работ показывает несостоятельность такого подхода к оценке не только геологических, но и извлекаемых запасов по многим аспектам, одним из которых является отсутствие аргументированной модели залежи, т.к. оценка площади нефтегазоносности для расчета объема продуктивных коллекторов до сих пор не определена.

ООО «Газпром нефть» ведет научное изучение залежей нетрадиционных коллекторов в региональном плане и на локальных объектах. Сформированы предполагаемые понятия о геологическом строении коллектора и основные представления о площади распространения залежей, которые системно подтверждаются различными методами исследований, в том числе бурением на месторождениях ООО «Газпром нефть».

Баженовская свита в осадочном чехле является как нефтематеринской породой, так и покрышкой для среднеюрских пород, где в результате геолого-геофизических и геохимических процессов (в основном температурных) протекают вторичные изменения пород. Нетрадиционный коллектор представляет собой осадочно-биогенные битуминозные отложения, самодостаточные с точки зрения обеспечения объемами генерированных им УВ, формирующих залежи внутри комплекса в результате гидротермально-метасоматических изменений в ранее активных тектониче-

ских зонах. Предполагается, что наиболее подвержены вторичным изменениям участки залежи, представленные локально развитыми хрупкими пропластками, контролируемыми особенностями строения фундамента и осадочного чехла.

Поэтому для выделения перспективных площадей отложений БС необходимо изучать весь комплекс пород осадочного бассейна и фундамента с учетом его формирования, а также рассматривать неотектоническую активность района (***рис. 1***).

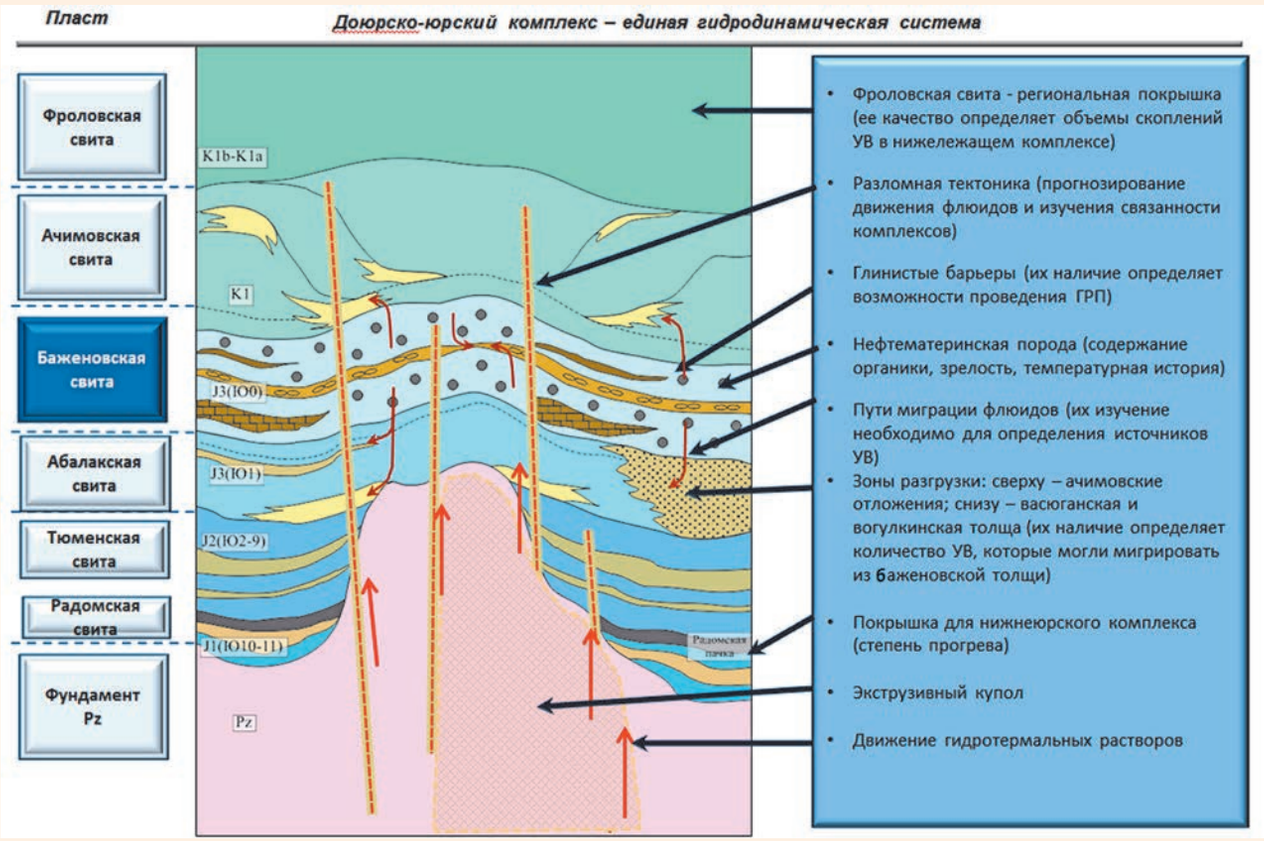
Рассмотрим выделение перспективных участков нефтеносности БС и способы оконтуривания их на площади.

При прогнозе нефтегазоносности нетрадиционных коллекторов необходимо выявить геолого-геофизические и геохимические процессы, которые привели к формированию залежей УВ, т.е. определить их потенциал и сохранность. Для этого необходимо разработать способ обнаружения продуктивных участков.

Основные параметры, влияющие на процесс нефтегазонакопления, достаточно хорошо известны и используются для оценки терригенных и карбонатных коллекторов. С некоторой степенью условности их можно разделить на несколько групп показателей: региональные и структурные, литологические, фациальные и геохимические, тектонические, температурные. При оценке подсчетных участков необходимо определить надежно замеряемые или картируемые параметры, влияющие на процесс нефтегазонакопления.

Для отложений всех типов коллекторов разреза большое значение имеют геолого-геохимические параметры, описывающие условия захоронения исходного ОВ и последующей его трансформации (генерация УВ на этапах катагенеза, процессы первичной и вторичной миграции) вплоть до их поступления в коллекторы нефтегазоносного комплекса. Отложения нетрадиционных объектов (нефтематеринских толщ), характеризуются самодостаточностью с точки зрения обеспечения объемами генерированных им УВ, формирующих залежи внутри комплекса. Все без исключения скважины с притоками нефти, полученными из пород БС, отличаются содержанием $C_{орг}$ не менее 6–7%, но достоверность влияния этого параметра на продуктивность находится на стадии изучения.

Рис. 1.
Фрагмент принципиального разреза строения юрско-мелового комплекса в Красноленинской НГО с геолого-геофизическими элементами, влияющими на продуктивность нетрадиционных коллекторов



Важнейшее значение приобретают параметры, описывающие термальную зрелость ОВ, которая в свою очередь обеспечивает наличие скопления УВ.

Существует определенная зависимость между открытой пористостью и пластовой температурой, что позволяет связывать формирование коллектора с одним из известных для БС процессов, контролируемых температурой, – это преобразование ОВ. Средний температурный градиент для центральной части Фроловской впадины изменяется в пределах от 3 до 4,6 ^{0}С/100 м.

Наличие термально зрелой нефтематеринской толщи следует рассматривать не только в результате литогенеза и диагенеза, т.е. погружения и уплотнения отложений, но и в результате гидротермально-метасоматических процессов, связанных с циркуляцией горячих растворов, которые привели к эпигенетическим изменениям пород в областях выступов фундамента, при отсутствии нижнеюрской покрышки и в зонах тектонических разломов.

Именно в толщах нижнетриасовых изверженных пород, выполняющих наложенные на палеозойский фундамент структуры, зарождались и циркулировали горячие растворы, значительная часть которых проникала в осадочный чехол по разломам. К этим же разломам в изолированных впадинах приурочены кислые экструзивные купола. Поэтому экструзивные купола, прекрасно выделяемые в геофизических полях, можно рассматривать как места активного высачивания гидротерм и значительного прогрева залегающих выше битуминозных осадочных толщ (пород БС) [2, 3]. В период тектонической активизации эти породы испытывали прогрев до 250–300 °С (Федорова, Бочко, 1991). Это вызвало один из процессов: образование УВ и трансформацию монтмориллонита в гидрослюду. Преобразования испытывало не только первичное сапропелевое ОВ, но и алюмосиликатный материал БС [4].

В настоящее время установлено, что характер эпигенетических изменений пород осадочного чехла Западно-Сибирской плиты контролируется разрывными нарушениями и определяется вспышками гидротермальной деятельности, которая сопровождала периоды тектонической перестройки региона. В течение мезозоя активизация Западно-Сибирской плиты возобновлялась неоднократно (Сурков и др., 1982).

Установленные месторождения нетрадиционных коллекторов характеризуются аномальными температурами, так, на Лебяжьем, Средне-Назымском и Галяновском месторождениях разогрев продуктивных интервалов на 6–8 °С выше пластовых температур в устойчиво фонтанирующих скважинах. Чем выше была температура прогрева пород под действием горячих растворов, тем больше могло образоваться УВ, способных при благоприятных условиях к эмиграции из пласта [1].

Важно подчеркнуть, – главным поисковым критерием нефтеносности нетрадиционных коллекторов является их высокая пластовая температура – **нефтеносность баженовских пород напрямую зависит от интенсивности их прогрева, т.е. от пластовой температуры.**

Есть предположение, что коллекторские свойства и нефтеносность баженовских пород взаимосвязаны единством процессов формирования коллекторов и нефтеобразования. Поэтому возникновение продуктивных баженовских нетрадиционных коллекторов следует рассматривать в неразрывной связи с образованием самих нефтяных залежей в битуминозных отложениях [2].

Участки регионально распространенной БС, которые залегают над кислыми экструзивными куполами туринской серии, являются или являлись в период тектонической активизации хорошо прогретыми, наиболее трещиноватыми и нефтенасыщенными. Причем размеры экструзивов определяют в вертикальной проекции продуктивную площадь битуминозных аргиллитов [2].

Но не все залежи нетрадиционных коллекторов установлены в районе развития экструзивных куполов. Известно, что **зоны высоких температурных градиентов на территории Западной Сибири приурочены к выступам в фундаменте плиты в областях отсутствия нижнего флюидоупора для нижнеюрского комплекса**. По геохимическим данным зрелость ОВ в районе Салымского месторождения наиболее высокая на стратиграфическом выклинивании радомской свиты, что косвенно подтверждает влияние высоких температур во время движения гидротермальных растворов в периоды тектонической активизации на органическую зрелость на участках выклинивания. Установлено, что наиболее высокодебитные скважины находятся в непосредственной близости к областям выклинивания радомской свиты и зонам тектонических разломов, оконтуривающих ее, т.е. к зонам эпигенетических преобразований. Происхождение метасоматической зональности и зональности коллекторских свойств

связывается с эволюцией гидротермальных растворов на пути их движения к поверхности, проницаемостью, прогретостью вмещающих пород и т.д. [2].

Таким образом, в региональном плане можно рассматривать 3 типа залежей для БС с явно выраженной метасоматической зональностью. На ***рис. 2*** представлен региональный концепт распространения залежей нетрадиционных коллекторов по площади. В авторском варианте они названы по месторождениям с установленной нефтеносностью БС с различными типами.

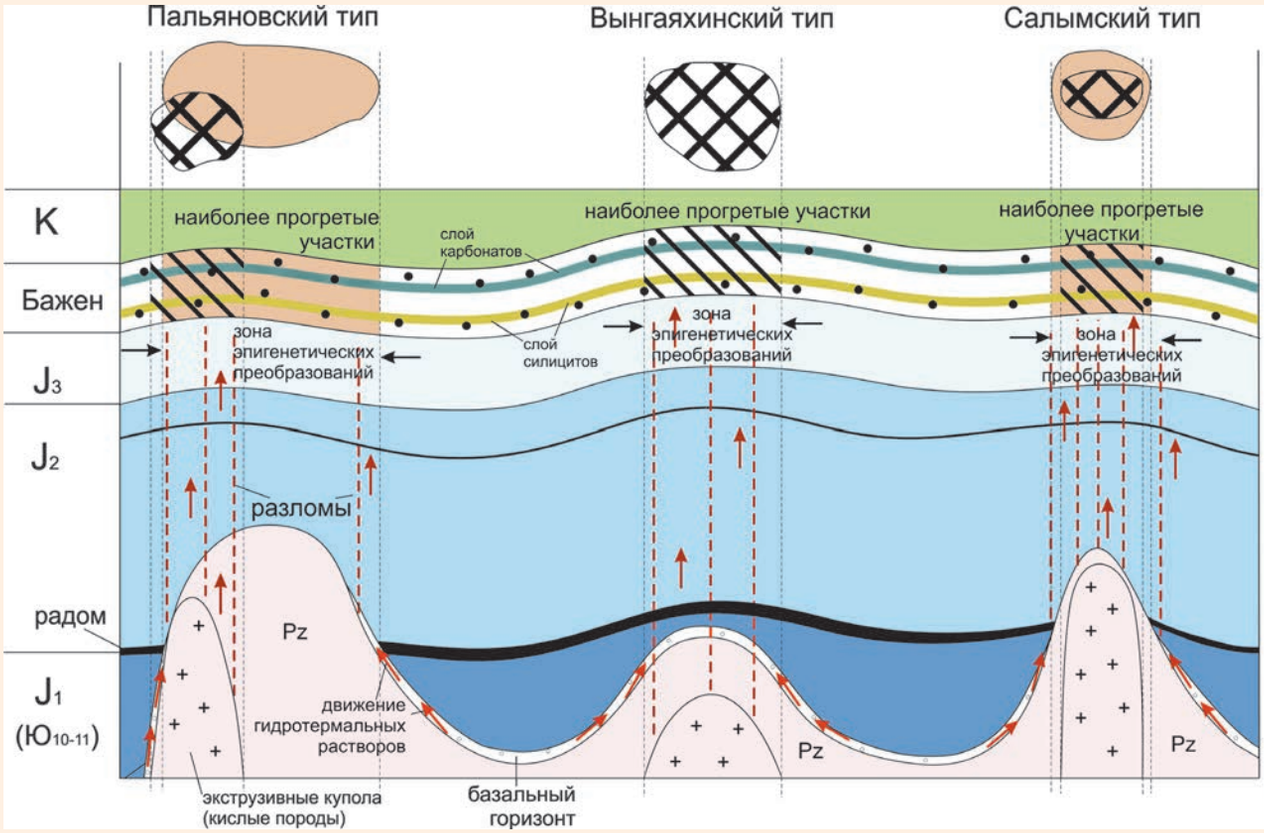
В области развития Фроловской впадины основные наложенные процессы, с которыми связывается продуктивность в кремнисто-карбонатно-глинисто-битуминозных отложениях, выявлены в благоприятных температурных условиях для формирования нетрадиционного коллектора, т.е., непосредственно в областях отсутствия радомской свиты и глубинных тектонических разломов, в непосредственной близости от кислых экструзивных куполов или над ними.

Именно по совпадающим отрицательным аномалиям магнитного и гравитационного полей выделяют контуры кислых экструзивных куполов [2], выявляют зоны эпигенетических преобразований и площадь распространения этих зон; по данным сейсморазведочных работ и геофизических исследований скважин определяется наличие нижних и верхних флюидоупоров, а также область распространения покрышки для нижнеюрского комплекса; по данным геохимических исследований определяется генерационный потенциал свиты, степень преобразованности ОВ.

Для картирования площади нефтеносности нетрадиционных коллекторов также необходимо знать, что содержимое резервуара существует, сгенерированные и накопленные УВ сохранены. Необходимо убедиться в отсутствии путей эмиграции из пластов нетрадиционного резервуара в пласты традиционного гранулярного типа, наличии надежной покрышки и подстилающих отложений, которые изолируют сгенерированные УВ, сохраняя нетрадиционную залежь.

Например, наличие вогулкинской песчаной толщи на Шаимском мегавале и Красноленинском своде или васюганской свиты в восточных областях Западно-Сибирской плиты, залегающих непосредственно под БС, является областью разгрузки для флюидов

Рис. 2.
Региональный концепт выделения перспективных площадей для нетрадиционных коллекторов



БС, поэтому существует большой риск для выявления нетрадиционных залежей.

Выделение эффективных толщин для БС является нетривиальной задачей, включающей в себя выявление в разрезе различных параметров и характеристик. По исследованию кернового материала баженовский интервал представлен высокоуглеродистыми глинисто-кремнистыми, глинисто-кремнисто-карбонатными и низкоуглеродистыми кремнисто-карбонатными, карбонатными и карбонатно-фосфатными породами.

Трещиноватость кремнистых и карбонатных пород создает общую фильтрационную систему и сопровождается движением флюида, приводя к перераспределению тепловых потоков. Непосредственно тепловые потоки влияют на вторичные преобразования пород в БС. Как тепловые потоки влияют на кремнистые и карбонатизированные породы в БС – в настоящий момент является объектом геологических исследований.

Таким образом, приуроченность выявленных залежей нефти в БС к выступам фундамента, отрицательным аномалиям по грави- и магниторазведочным исследованиям и зонам разломов позволяет сократить поисковые работы за счет осуществления целенаправленности геолого-геофизических исследований. На поисковом этапе работ с целью картирования распространения нетрадиционных коллекторов необходим широкий комплекс геолого-геофизических исследований, включающий в себя:

– грави-магнитометрические (ретропереинтерпретация и высокоточная трехкомпонентная гравиметрическая съемка) исследования;

– сейсморазведочные широкоазимутальные исследования;

– геолого-геохимические, включая площадные геохимические, исследования.

Выводы

Аномалии с контурами кислых экструзивных куполов в породах фундамента, а также отсутствие нижней покрышки для среднеюрских отложений (радомская свита) являются наиболее прогретыми участками в БС. Только после возникновения в них вторичной пористости при гидротермально-метасоматических преобразованиях породы могут приобретать высокие фильтрационно-емкостные характеристики. Изменения гидротермально-метасоматической природы носят зональный характер. Причем каждая из зон обладает своими индивидуальными коллекторскими свойствами.

Предполагается, что основным контролирующим фактором для формирования залежей нефти для нетрадиционного коллектора в разной степени являются следующие геофизические и геолого-геохимические параметры:

- термальная зрелость пород;
- достаточное содержание ТОС;
- наличие отрицательных грави- и магнитных аномалий;
- отсутствие покрышки для нижнеюрского комплекса;
- отсутствие зон разгрузки выше и ниже по разрезу от свиты;
- наличие зональной эпигенетически преобразованной породы в областях разломов;
- наличие глинисто-кремнистых, кремнисто-карбонатных, карбонатных пород в разрезе.

Литература

1. Стрижнев К.В., Черевко М.А., Ситников А.Н., Заграновская Д.Е., Жуков В.В. Особенности геологического строения бажен-абалакского комплекса на примере Пальяновской площади Красноленинского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2013. № 12. С. 27–33.
2. Коробов А.Д., Коробова Л.А. Патент РФ № 2428723, МПК G01V 11/00.
3. Краснова С.Г., Хуторской М.Д. О влиянии интрузий в фундаменте Западно-Сибирской плиты на нефтеносность баженовской свиты // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243. № 4. С. 995–997.
4. Федорова Т.А. Водно-растворимые соли баженовской свиты как критерий выделения зон коллекторов / Т.А. Федорова, Р.А. Бочко // Геология нефти и газа. 1991. № 2. С. 23–26.
5. Цымбалюк Ю.А. ФГУП «ЗапСибНИИГГ». Отчет «Изучение строения и прогноз нефтегазоносности верхнеюрских отложений (бажен, абалак) на территории Фроловской и Красноленинской НГО Широтного Приобъя ХМАО». 2014.