

# Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы

## The Bazhenov Suite: Unlocking the Potential

И.С. Афанасьев, к.ф.-м.н., Е.В. Гаврилова, Е.М. Бирун (ОАО «НК «Роснефть»), Г.А. Калмыков, к.г.-м.н., Н.С. Балушкина (МГУ им. М.В. Ломоносова)

I.S. Afanasiev, PhD, E.V. Gavrilova, E.M. Birun (OJSC NC "Rosneft"), G.A. Kalmykov, PhD, N.S. Balushkina (Lomonosov MSU)



В настоящее время баженовская свита рассматривается как один из стратегически важных объектов для восполнения ресурсной базы нефтяной отрасли России. ОАО «НК «Роснефть» ведет промышленную эксплуатацию этих отложений на Салымском месторождении (ООО «РН-Юганскнефтегаз») и планирует ее расширение.

В 2010 г. в компании принята и реализуется Целевая Инновационная Программа (ЦИП) «Разработка технологий освоения карбонатно-глинисто-кремнистых толщ баженовской свиты». В рамках этой программы мы начинаем публикацию цикла статей, посвященных баженовской свите. В первой части цикла основное внимание будет уделено вопросам геологического изучения отложений, во второй – планируется рассмотрение проблем, связанных с технологиями освоения и разработки.

### Введение

Баженовская свита (БС) является одним из наиболее изучаемых, но при этом наименее предсказуемых объектов нефтегазовой геологии в России. Достаточно сказать, что с начала изучения баженовской свиты прошло уже более 50 лет, более 10 % всех защищенных диссертаций по нефтяной геологии посвящено этим отложениям. Исследования

The Bazhenov Suite is now considered as a strategically important asset in terms of prospects for the Russian Oil industry. Rosneft is currently developing these deposits in the Salymskoye project (LLC "RN-Yuganskneftegaz") and is planning its expansion.

In 2010, the company adopted the Innovative Targeted Program (ITP) - "The Development of technology for reclamation of carbaceous argilliferous siliceous mass of Bazhenov Suite". As part of this program, we are starting a series of publications on the Bazhenov formation. The first part of this series will review the geology of these deposits, and the second will examine the problems that arise in connection with their development.

### Introduction

The Bazhenov Suite (BS) is one of the most studied, yet most unpredictable formations of petroleum geology in Russia. Suffice to say that it has been over 50 years since the Bazhenov Suite was first researched and over 10% of all petroleum geology papers have been dedicated to these formations. Research work is continuously underway and new publications and studies are issued, yet all this does not make this formation any more predictable.

Currently, over 70 deposits with industrial oil reserves are known to exist in the BS, but well drilling aimed at

проводятся постоянно, появляются новые публикации, однако это не делает баженовскую свиту более предсказуемой. В настоящее время известно более 70 месторождений с промышленными запасами нефти в БС, однако бурение скважин с целью получения гарантированного притока нефти даже в оконтуренных залежах по-прежнему проводится методом «дикий кошки». Месторождения нефти в БС открываются случайно, унифицированной методики подсчета запасов по пласту Ю<sub>0</sub> нет. Поэтому вполне объяснимо, что и оценки запасов порой различаются более чем на порядок (от 600 млн. до 30 млрд. т). Опыт эксплуатации Салымского месторождения свидетельствует об отсутствии надежных технологий рентабельной разработки БС.

### Геология баженовской свиты

Баженовская свита входит в состав одноименного горизонта. Отличительной чертой этого горизонта считается битуминозность пород. На большей части Западной Сибири баженовский горизонт, включая баженовскую и частично тутлеимскую, марьяновскую, даниловскую, яновстанскую и другие свиты, представлен битуминозными аргиллитами [1].

Латеральными аналогами БС по окраинам бассейна являются небитуминозные и слабобитуминозные породы соответствующих частей даниловской (на северо-западе), яновстанской (на северо-востоке), марьяновской (на востоке и юге) и других свит.

Породы собственно БС подстилаются прибрежно-морскими и морскими отложениями абалакской или георгиевской свит, отражающих процессы постепенного затопления территории Западной Сибири в поздней юре. Перекрываются песчаноглинистыми клиноформными отложениями нижнего мела. Накопление пород в составе баженовского горизонта отвечало условиям максимальной позднеюрско-раннемеловой трансгрессии морского бассейна, площадь зеркала воды которого достигала 2 млн. км<sup>2</sup>.

Возраст битуминозных пород различен. Западнее центрального поля развития отложений БС происходит последовательное омоложение битуминозных пород от титона до готерива. Эта информация дает представления о динамике развития баженовского бассейна, что необходимо учитывать при корреляции разрезов битуминозных пород и фациальных построениях.

БС хорошо прослеживается по латерали и распространена на территории площадью более 1 млн. км<sup>2</sup> при толщине от 10 до 60 м (в среднем 30 м). В некоторых случаях, в так называемых «аномальных разрезах» БС, толщина достигает 100 м и более.

guaranteed production of oil even within the limits of contoured proven fields is still done by wild cat drilling. Oil deposits in BS are discovered by chance, there is no unified method of reserves calculation for Ju<sub>0</sub> bed. That explains why the estimation of reserves sometimes varies by orders of magnitude ranging from 600 mln upto 30 bln. t. Operational experience at the Salymskoye deposit indicates of the absence of reliable technologies for profitable development of BS.

### Geology of the Bazhenov Suite

The Bazhenov Suite is part of the layer with the same name. Bituminosity of the rock is considered to be the horizon's distinctive feature. For the larger part of Western Siberia, the Bazhenov horizon, including Bazhenov Suite and, partly, Tutleim, Maryan, Danilov, Yanovstan and other formations, are represented with bituminous argillites [1].

Lateral analogues of the BS in the outskirts of the Suite are non-bituminous and low-bituminous rock of the respective parts of the Danilov (north-west), Yanovstan (north-east), Maryan (east and south) and other formations. BS rock itself is underlain with littoral and marine sediments of the Abalak and Georgievsk formations, which reflect the processes of the gradual marine incursion of Western Siberia during the late Jurassic period.

They are overlaid with sandy-argillaceous clinoform sediments of the lower Cretaceous. Accumulation of rock within the Bazhenov horizon corresponded to the conditions of maximal transgression of the sea Suite during late Jurassic – early Cretaceous period, when the water surface area was as large as 2 mln. sq. km.

Bituminous rock varies in age. To the west of the central BS sediments development, bituminous rock is gradually younger, from Tithonian to Hauterivian. This information shows the dynamics of Bazhenov Suite development, which should be considered when correlating bituminous rock sections and facies construction.

The BS is well traced by lateral and spreads over 1 mln sq. km in area, 10 to 60 m in thickness (average 30 m). In some cases, referred to as “anomalous sections”, thickness of Suite reaches 100 m and more. Deposits grow deeper from southern parts of West-Siberian plate to the northern. Formation roofs lie at 600 m minimum, 3800 m maximum.

The bituminous and organic-rich rock is often referred to as “black shale”, but relating to BS, “bituminous argillite” serves as the established term: it was initially used to outline the significant difference of BS rock from the host rock [2].

The lithology of BS is determined by ratio of biogenic and terrigenous constituents (fig. 1). Biogenic components

Глубины залегания отложений возрастают в направлении от южных частей Западно-Сибирской плиты к северным. Минимальные отметки кровли составляют 600 м, максимальные – 3800 м.

Для битуминозных и обогащенных органическим веществом пород часто используется термин «черные сланцы» (black shales). Применительно к БС устоявшимся термином остается «битуминозный аргиллит». Термин этот изначально использовался для того, чтобы подчеркнуть существенное отличие пород БС от вмещающих [2].

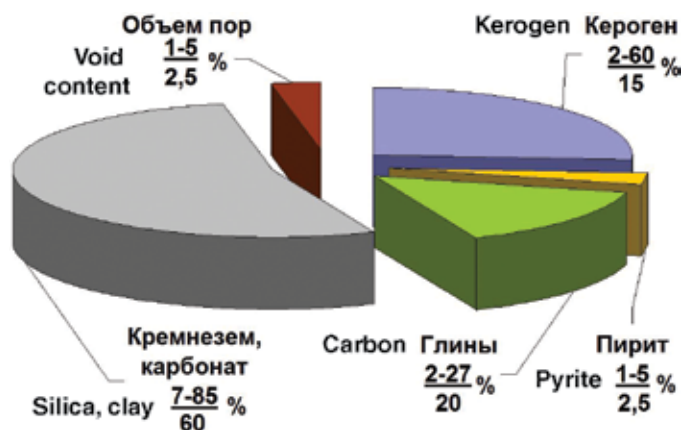


Рис. 1. Минерально-компонентная модель баженовской свиты (район деятельности ООО «РН-Юганскнефтегаз»)

Fig. 1. Mineral component model of the Bazhenov Basin (operations area of LLC "RN-Yuganskneftegaz")

Состав пород БС определяется соотношением биогенной и терригенной составляющих (рис. 1). К биогенной составляющей относятся кремнезем, слагавший скелеты и раковины организмов, кероген, который в некоторых случаях может занимать большую часть объема породы, иногда также породообразующее значение приобретает карбонатный материал. Карбонатные породы в составе БС могут быть нескольких типов. К первичным биогенным относятся карбонаты, слагающие остатки пелеципод, фораминифер, гастропод, теутид, кокколитофорид и пеллетовых образований [3]. Это могут быть органогенные постройки позднеюрского и раннемелового возраста, которые формировались в наиболее мелководных частях существующего в то время морского бассейна. Карбонатные породы могут являться вторичными по отношению к первичным биогенно-кремнистым. Биоморфная структура пород при карбонатизации сохраняется, но кремнистый состав меняется на карбонатный. Вторичные карбонаты являются продуктами хемогенного замещения.

are silica originated from organic skeletons and shells, kerogen which in some cases may take up the larger part of the rock mass; carbonaceous material may also bear rock-forming significance. Carbonaceous rock within BS may be of few different types. Primary biogenic carbonates are those remnants of pelecypodae, foraminifers, gastropods, teuthidae, coccolithophorae and pellet formations [3]. These could be organic formations of the late Jurassic and early Cretaceous age, which formed in shallow areas of the sea Suite which existed at that time. Carbonaceous rock could be secondary in relation to the primary biogenic siliceous rock. Biomorph rock structure during carbonatization remains, but the silicate composition changes to carbonaceous. The secondary carbonates are products of chemogenic replacement. Fragmental material is mainly represented with argillaceous minerals, which were removed into the Suite from the adjacent land areas - the Ural plane on the west and the middle Siberian plane on the east, the Kazakh highlands on the south and the Altay-Sayan highlands on south-western edge of the plate (fig. 2). The remote location of the displacement sources from the central part of paleoSuite determined the income of terrigenous material into the central part of the Suite, primarily as part of argillaceous fraction.

Pyrite is also a stable component of the rock. With that, pyritization of a few stages is identified. Earlier generated pyrite is present in finely dispersed and forms tight organic mineral complexes with kerogen. Pyrite of later generation is unevenly developed and forms interlayers and lentils few centimeters in size.

In the general case, organic matter of BS, which in some interlayers reaches 60% of volume and more, has a primary nature and is related to vital activity of phytoplankton, algae organisms and surface vegetation. With that, marine sapropel matter (primarily skeletonless organisms – bacterial and algal) is most typical for the central areas of the Suite, whereas closer to its edges, share of surface organic matter increases. These conclusions are proved both by coal petrography and geochemical methods. Remnants of vitrinite are typical for outlying regions of BS sediments. The characterizing feature is increased organic content of the rock from the Suite base up towards its roof.

Along with high content of organic matter in the rock, increased concentration levels of many elements are also determined, such as Mo, U, V, Cu, Zn, Ni, As, Sb, Se, Ag, Au, Ba, Br. Their distribution along the section correlates with that of organic material. This increased concentration of microelements are normally explained by concentrating capacity of plankton life that had inhabited the ocean waters [4]. While describing the BB rock, the authors had found remnants of bivalve benthos organisms in many areas (fig. 3).





# ROSSCOR

## МНОГОФАЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАСОСНЫХ СИСТЕМ

### РОССКОР

ПОСТАВЛЯЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- МНОГОФАЗНАЯ НАСОСНАЯ СИСТЕМА
- ГАЗОКОМПРЕССОРНАЯ СИСТЕМА
- СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЗОТА

**Выставка MIOGE: стенд 2277, пав. 2, зал 2.**

### ROSSCOR

PROVEN PRODUCTION SOLUTIONS FOR

- MULTIPHASE PUMP SYSTEMS
- GAS COMPRESSOR SYSTEMS
- WATER INJECTION SYSTEMS

**Come see us at MIOGE stand 2277, Pav. 2, Hall 2**

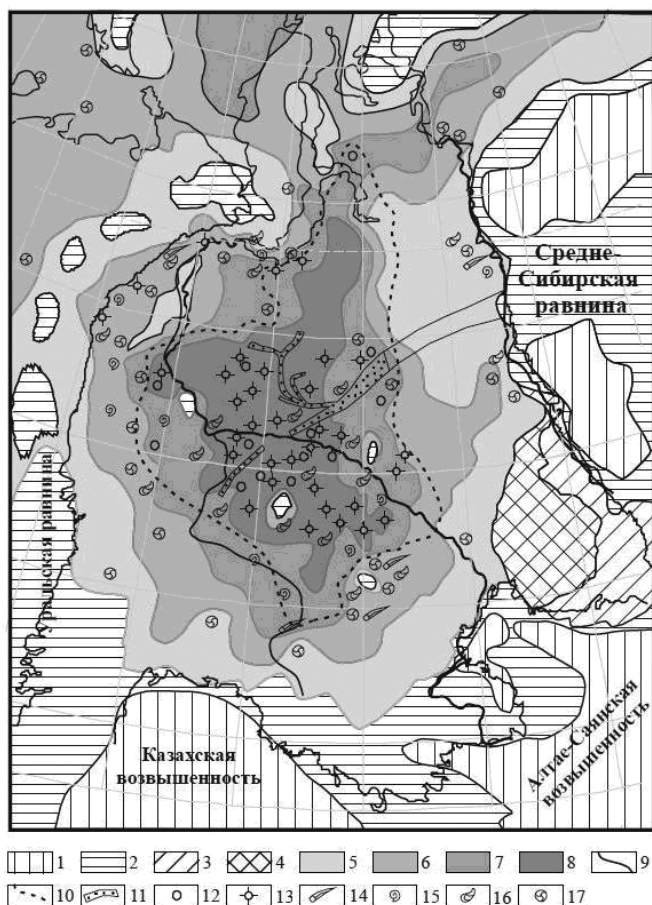


## OIL AND GAS PROCESS TECHNOLOGY

**WWW.ROSSCOR.NL**

Телефон +7 495 - 432 62 80  
Факс +7 495 - 936 54 45  
e-mail rossmosc@mspk.east.ru

**Colfax**  
Aquatech



**Рис. 2. Палеогеографическая карта Западной Сибири в поздневожжское время [3]:**

палеогеографические обстановки: 1 – плато, нагорья, горные области (более 600 м); 2 – области денудации (холмистое плато) (200-600 м); 3 – аллювиально-озерно-болотная равнина (до 200 м); 4 – марши, лагуны; 5 – верхняя сублитораль; 6 – средняя сублитораль; 7 – нижняя сублитораль; 8 – псевдобатталь; границы: 9 – Западной Сибири; 10 – битуминозных отложений; 11 – аномальные разрезы; органические остатки: 12 – кокколитофориды; 13 – радиоларии; 14 – белемниты; 15 – аммониты; 16 – двустворчатые моллюски; 17 – фораминиферы

**Fig. 2. Paleo-geographic map of Western Siberia in late Volgian period [3]:**

paleogeographic situations: 1 – plateaux, highlands, mountain areas (over 600 m); 2 – denudation areas (hilled plateau) (200-600 m); 3 – alluvial-lymnetic-swampy plane (up to 200 m); 4 – marshes, lagoons; 5 – upper sublittoral; 6 – medium sublittoral; 7 – lower sublittoral; 8 – pseudo-bathyal zone; borders: 9 – of Western Siberia; 10 – of bituminous sediments; 11 – anomalous sections; organic fossils: 12 – coccolithofores; 13 – radiolariae; 14 – belemnites; 15 – ammonites; 16 – bivalve mollusks; 17 – foramineferae

It is presumed that conditions of sedimentation in the Bazhenov Suite were characterized with sulphureous contamination of bottom waters. However, the first discoveries of burrow traces in high-carbon Bazhenov rock (Corg=10.5%) in the south-east of the plate near the Tomsk region signify that “we must concede the presence of areas with low oxygenation below the sedimentation surface – water in abyssal troughs at the bottom of Bazhenov sea” [5]. Discovered traces of burrow organisms, remnants of benthos fauna and various geochemical indicators show that at least periodically, near-bottom layers of the Bazhenov sea were free of sulphureous contamination. The authors believe that the Bazhenov sea was rather shallow. Its indication is the difference in deposit depths of undofom and fondofom parts of Achim clinocyclites (200-300 m), which filled the Suite later.

### Oil bearing capacity

The history of combined development of Bazhenov and Abalak complex of BS deposits in the central part of Western Siberia proves its distinction from traditional reservoir development. Above all, the following features should be noted:

- » Uneven distribution of wells with high initial flow rate across the area, and the rate may vary significantly from a few tons per day to few hundred.
- » Wells with oil inflow are characterized (though not always) by high temperatures and anomalously high formation pressure (AHFP), which may exceed hydrostatic pressure by 1.8 times. This signifies, firstly, of significant oil reserves which led to autofluidal fracturing of the reservoir and an increase in pressure, and, secondly, of a potentially high oil recovery factor (ORF).
- » Significant increase in well flow rate after hydrofracturing (HF).
- » Quite steep productivity decline: during the space of a year the flow rate may drop significantly. With that, inflows of the main producing reservoir, CB1 (Carbonaceous bed), at Bazhenov-Abalak formation at the Salymskoye deposit may be sustained at 10 t/day level for a few decades.

According to the analyses of hydrodynamic research (HDR) on the wells of Salymskoye deposit conducted by S.G. Volpin and L.V. Zakrichniy (OJSC “VNIIneft”), the BB should be considered as stratum composed of reservoir intervals, which feed oil from the reservoir into the well and a matrix which feeds oil into these reservoir intervals. These conclusions were announced in the report “Determination of reservoir types in sediments of the Bazhenov Suite based on HDR data (Salymskoye deposit)” during the work seminar “Oil and gas bearing capacity of Bazhenov Suite sediments: problems and solutions” (CSTC OJSC “NC Rosneft”, Moscow, December 18, 2008). Based on the assessment of S.G.





Рис. 3. Скопления раковин бентосных организмов в отложениях баженовской свиты, вскрытых на Салымском месторождении  
Fig. 3. Accumulations benthos organisms' shells in sediments of the Bazhenov Basin found at Salymskoye deposit

Обломочный материал представлен в основном глинистыми минералами, которые сносились в бассейн с прилегающей суши: Уральской равнины на западе, Средне-Сибирской равнины на востоке, Казахской возвышенности на юге и Алтае-Саянской возвышенности на юго-западном окончании плиты (рис. 2). Удаленность источников сноса от центральных частей палеобассейна определила поступление терригенного материала в центральную часть бассейна преимущественно в составе глинистой фракции.

Пирит также является постоянным компонентом пород. При этом установлена пиритизация нескольких стадий. Пирит более ранней генерации присутствует в тонкодисперсной форме и образует прочно связанные с керогеном органо-минеральные комплексы. Пирит более поздней генерации развит неравномерно и образует прослои и линзы толщиной в несколько сантиметров.

В общем случае органическое вещество БС, количество которого в отдельных прослоях достигает 60 % и более по объему, имеет первичную природу и связано с жизнедеятельностью фитопланктона, водорослевых организмов и наземной растительности. При этом преимущественно морское сапропелевое вещество (в первую очередь, бесскелетные организмы – бактериальные и водорослевые) характерно для центральных областей бассейна, тогда как при приближении к окраинным частям в составе органического вещества фиксируется увеличение доли наземной гумусовой органики. Эти выводы подтверждаются как углепетрографическими, так и геохимическими методами. Остатки витринита характерны для окраинных районов распространения отложений БС. Характерной особенностью является увеличение содержания в породах органического вещества от подошвы свиты к кровле.

Наряду с высокими содержаниями органического вещества в породах установлены повышенные концентрации многих элементов: Mo, U, V, Cu, Zn, Ni, As, Sb, Se, Ag, Au, Ba, Br. Распределение их по разрезу коррелирует

**OLGA®**

проектирование и эксплуатация систем добычи

www.olgaworld.com

Реклама

- Стабильность потока и минимальное время простоя при остановке/пуске скважины и трубопровода, прочистке, сбросе давления
- Снижение риска блокировок гидратами, парафинами и асфальтенами; минимизация последствий блокировки
- Эффективная эксплуатация промысла на основе постоянно действующей модели многофазных потоков в скважине, системе сбора и транспорта продукции

be dynamic

**SPT GROUP**

www.sptgroup.com

119311 Россия, Москва,  
пр-т Вернадского, 8А, башня А,  
Тел: + 7 495 798 86 66  
e-mail: agr@sptgroup.com



с распределением органического вещества в породах. Повышенные содержания микроэлементов чаще всего объясняют концентрационной функцией планктонных организмов, заселявших водную толщу [4]. При описании пород БС на многих площадях авторами обнаружены остатки двусторчатых бентосных организмов (рис. 3).

Считается, что условия осадконакопления в баженовском бассейне характеризовались сероводородным заражением придонных вод. Однако первые находки следов илоедов в высокоуглеродистых (Сорг = 10,5 %) баженовских породах на юговостоке плиты в районе Томской области свидетельствуют о том, что «приходится допускать наличие участков со слабым кислородным насыщением ниже поверхности осадок – вода в глубоководных впадинах на дне баженовского моря» [5]. Находки следов зарывающихся организмов, остатки бентосной фауны, различные геохимические показатели указывают на, по крайней мере, периодическое отсутствие условий сероводородного заражения в придонных слоях баженовского моря.

По мнению авторов, баженовское море было относительно мелководным. Об этом свидетельствуют разности глубин залегания ундиформенной и фондоформенной частей ачимовских клиноциклитов, заполнивших бассейн позднее, которые составляют 200-300 м.

### Нефтеносность

История совместной разработки баженовско-абалакского комплекса залежей БС в центральной части Западной Сибири показывает, что она отличается от разработки традиционных коллекторов. Прежде всего необходимо отметить следующие особенности.

- » Неравномерное по площади распределение скважин с высоким начальным дебитом. Причем разница в дебитах может составлять два порядка: от первых тонн в сутки до нескольких сотен.
- » Скважины с притоками нефти характеризуются (но не всегда) повышенными температурами и аномально высоким пластовым давлением (АВПД), которое может превышать гидростатическое в 1,8 раза. Это свидетельствует, во-первых, о наличии значимых запасов нефти, приведших к автофлюидоразрыву пласта и повышению давления, во-вторых, о потенциально больших коэффициентах извлечения нефти (КИН) на упругом режиме разработки.
- » Существенное увеличение дебитов скважин после проведения гидроразрыва пласта (ГРП).
- » Достаточно резкий спад производительности скважины: в течение года дебит может снизиться на порядок. При этом притоки из основного

Volpin, oil-producing intervals account for 30% and matrix for 70% of oil production.

The main objective for the study of oil bearing capacity is obtaining information on the oil producing zones of the Suite. Having had no opportunity to study them from core sampling, the geologists had developed about ten models, which would explain the reservoir type and processes of its formation. Unfortunately, none of these have proven reliable so far. At the same time, analysis of formation mechanisms for BB rock capacity is impossible without the creation of a proper geological sediments model which would consider a variety of factors, the main ones being the processes of transformation of the mineral and organic rock during the collection of sediments, diagenesis and katagenesis. Another complicating issue is the formation of fractures and colmation during technogenic intervention to the rock while drilling and raising core columns to the surface. The task of determining and correlating rock types is even further complicated by the fact that BB sections characterized by the core vary significantly even in neighboring wells. The sediments containing commercial oil deposits which have a “non-traditional” composition of reservoir rock, require specially developed methods of study. Such complex methodology does not exist at this time.

Oil producing zones of the BB have limited distribution across the area and are uneven across the section, their thickness being from the first few tens of centimeters to a few meters. Studying these intervals presents a problem due to the fact that fractured, foliated rock is practically impossible to extract as full core samples: they crumble and come out as sludge or rock fragments. Therefore studying these oil producing intervals from core samples is impossible, and their permeability and porosity properties (PPP) can only be assessed based on geophysical survey (GPHS) data. Moreover, permeability evaluation can only be done by hydrodynamic research (HDR) data.

The main issue of developing oil deposits in the BB is the low ORF. Currently, the oil recovery factor from the reservoirs of the  $Ju_0$  bed of Bazhenov Suite at Salymkoye deposit, calculated based on unobvious method is about 7%. Increasing oil recovery remains the main issue for the Bazhenov Suite. With that in mind, the primary interest lies in already formed oil deposits, which could be extracted using “traditional” methods. At a later stage, development focus could shift to mining the entire bed charged with oil during thermal destruction of kerogen.

### Deliverability

Fractured cavernous carbonaceous sediments could be the primary producing intervals of Bazhenov-Abalak formation. The second type of reservoir could be fractured or foliated bazhenovites, formed primarily with kerogen and silica. The porosity of these beds, based on various

продуктивного пласта КС<sub>1</sub> (карбонатный слой) баженовско-абалакского комплекса на Салымском месторождении могут поддерживаться на протяжении нескольких десятков лет на уровне 10 т/сут.

Согласно анализу данных гидродинамических исследований скважин на Салымском месторождении, проведенных С.Г. Вольпиным и Л.В. Закриничным (ОАО «ВНИИнефть»), БС следует рассматривать как толщу, состоящую из интервалов коллекторов, отдающих нефть из пласта в скважину, и матрицы, отдающей нефть в интервалы-коллекторы. Эти выводы прозвучали в докладе «Определение типа коллектора в отложениях баженовской свиты по данным ГДИ (Салымское месторождение)» на рабочем семинаре «Нефтегазоносность отложений баженовской свиты: проблемы и решения» (КНТЦ ОАО «НК «Роснефть», Москва, 18 декабря 2008 г.). По оценкам С.Г. Вольпина, нефтеотдающие интервалы обеспечивают 30 %, матрица – 70 % добычи нефти.

Основной задачей при изучении нефтеносности является получение информации о нефтеотдающих интервалах БС. Практически не имея возможности изучить их на керне, геологи разработали около десятка моделей, объясняющих тип коллектора и процессы его образования. К сожалению, пока ни одна из них надежно не подтвердилась.

В то же время анализ механизмов образования емкости пород БС невозможен без создания корректной геологической модели отложений, учитывающей множество факторов. Среди них главные – процессы преобразования минеральной и органической пород при накоплении осадка, диа- и катагенезе. Осложняющим фактором являются образование трещин и кольматация при техногенном воздействии на породу при бурении и подъеме колонки керна на поверхность. Задача определения и корреляции типов пород осложняется также тем, что разрезы БС, охарактеризованные керном, значительно различаются даже в соседних скважинах. Вмещающие промышленные скопления нефти отложения, имеющие «нетрадиционный» состав пород-коллекторов, требуют специально разработанных методик их изучения. Такой комплексной методики в настоящее время нет.

Нефтеотдающие интервалы в БС имеют ограниченное распространение по площади, распределены в разрезе неравномерно, их толщина составляет от первых десятков сантиметров до первых метров. Проблема исследования нефтеотдающих интервалов заключается в том, что трещиноватые, листоватые породы при бурении практически невозможно извлечь на поверхность в виде целых образцов керна:

Westfalia Separator® CrudeMaster

## Нефтяники обожают ее



Высокая производительность на каждый сантиметр рабочей площади – вот что делает сепараторную установку Westfalia Separator® CrudeMaster одной из наиболее эффективных на рынке. Компактная конструкция этой модели позволяет использовать её на морских шельфовых месторождениях, например, на плавучих нефтекомплексах, где каждый квадратный сантиметр на счету. Однако, GEA Westfalia Separator Group предлагает идеальные решения и для континентальных проектов.

GEA Westfalia Separator Group предлагает современные технологические решения по обезвоживанию тяжёлой сырой нефти, вплоть до API 13. Кроме воды, установка также надёжно отделяет твёрдую фазу и растворимые в воде соли. Полезная мощность CrudeMaster, до 30.000 баррелей в день – наибольшая из доступных на рынке. Благодаря высокому значению g-фактору, потребность в использовании химикатов или ничтожно мала, или отсутствует. Минимальные значения рабочего объёма, занимаемого установкой, при максимальной производительности – преимущества на весь срок службы установки Westfalia Separator® CrudeMaster с прямым приводом.

Прямой доступ к нашим услугам  на сайте:  
[www.westfalia-separator.com/service](http://www.westfalia-separator.com/service)



Выставка International Oil & Gas

21 – 24 ИЮНЯ 2011, МОСКВА,  
РОССИЯ Экспоцентр, стенд 1614



*Liquids to Value*

GEA Mechanical Equipment

**GEA Westfalia Separator Group**

Werner-Habig-Straße 1 · 59302 Oelde (Германия)

Телефон: +49 2522 77-0 · Факс: +49 2522 77-1778

[www.westfalia-separator.com](http://www.westfalia-separator.com)



они обычно крошатся и выносятся в виде шлама или небольших обломков пород. По этой причине изучение нефтеотдающих интервалов на керне практически невозможно, а оценить их фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) можно только по данным промыслово-геофизических исследований (ПГИ) скважин. Причем оценка проницаемости может быть проведена только по данным гидродинамических исследований (ГДИ).

Проблема разработки залежей нефти в БС заключается в низком КИН. В настоящее время коэффициент извлечения нефти из пласта Ю<sub>0</sub> баженовской свиты Салымского месторождения из запасов, подсчитанных на основании неочевидной методики, составляет около 7%. Основным при разработке баженовской свиты остается вопрос увеличения КИН. При этом в первую очередь интерес представляют уже сформировавшиеся залежи нефти, из которых ее можно извлечь «традиционными» методами. В дальнейшем объектом разработки может являться вся толща, насыщаемая нефтью при термической деструкции керогена.

### Продуктивность

Отдающими интервалами в баженовско-абалакском комплексе прежде всего могут быть трещинно-кавернозные карбонатные отложения. Вторым типом коллектора могут быть трещиноватые или листоватые баженовиты, сложенные преимущественно керогеном и кремнеземом. Пористость этих пластов, по оценкам разных авторов, может достигать 20 % при проницаемости, превышающей 1 мкм<sup>2</sup> (сообщающиеся хорошо раскрытые трещины). При этом пористость матрицы составляет единицы процентов (обычно 1-2 %), не превышая 5 % (один образец из 200 исследованных авторами).

Ознакомившись с разрезами БС в центральной и западной частях ее распространения, данными о продуктивности, результатами ПГИ, учитывая огромный опыт предыдущих исследований, авторы пришли к выводу, что наиболее перспективным объектом являются карбонатные прослои, протяженность которых может составлять несколько километров. На Большом Салыме к ним относится пласт КС<sub>1</sub>, расположенный в пограничной зоне между отложениями абалакской и баженовской свит. К северу от Большого Салыма, на Сургутском и Краснотенинском сводах такие пласты встречаются в самой толще БС и идентифицируются как первично карбонатные (водорослевые, ракушняковые банки) или вторично-карбонатизированные пласты. В разрезе БС можно выделить несколько интервалов, где кремнистые породы подверглись частичной или полной карбонатизации. Лучшее всего по площади прослеживается карбонатный прослой, приуроченный

evaluations, could reach 20% permeability exceeding 1 mkm<sup>2</sup> (well open connected fractures). With that, porosity of the matrix measures in single percents (usually 1-2%), not exceeding 5% (one sample of 200 tested).

Having reviewed BB sections for the central and western part of its distribution, deliverability data, GPHR results and considering the enormous experience of earlier studies, the authors came to conclusion that most prospectives are carbonaceous interlayers, which can reach a few kilometers in length. At Bolshoi Salym they are represented by the CB<sub>1</sub> bed, located on the border zone of the Abalak and Bazhenov Suite sediments. To the north of Bolshoi Salym, at the Surgut and Krasnoleninskiy highs, such beds can be found within BB stratum itself, and are identified as primary carbonaceous (algae, shelly hursts) or secondary-carbonated beds.

On this BB section, a few intervals may be identified where silicate rock underwent complete or partial carbonatization. The carbonaceous interlayer best traced across the area is the one confined to the limits of the upper and lower parts of the Suite, which differ greatly in density due to varying kerogen content.

Density features of these parts of the Suite allow for indication of fringes based on seismic data. Determination of carboneous bodies' nature is a very important factor in forecasting their distribution.

Age and formation timing of organogenic carboneous formations may vary depending on the time of maximum transgression of the sea Suite. That's why prospecting and distribution forecasting for carboneous rock must be done based on lithology-and-facies research. After conducting this research, patterns for alteration of lithological composition should be determined and assessed. In general, these patterns are apparent from an increased share of terrigenous (argillic) content in near-bottom and near-top parts of the bazhenov Suite and a rise of generational potential upwards the section.

Rocks with dominating siliceous and carboneous composition are potential reservoirs with fractured and porous-fractured capacity type. These are more predisposed to the formation of fractures due to tectonic movement or other influences expressed in a sudden decrease of pressure and a change of stress condition of this rock. Evidence of such influence can be seen on the core samples (fig. 4).

To evaluate the section properties in regards to which rock and at which initial conditions should undergo hydrofracturing, it's necessary to characterize the section on stress-strain properties of its composing rock types, for which a study of rock in conditions of non-uniform compression is needed. The collection of core samples

к границе верхней и нижней частей БС, которые существенно различаются по плотности, что обусловлено различным содержанием керогена. Плотностные характеристики этих частей свиты позволяют выявлять границу по данным сейсморазведки.

Выяснение природы карбонатных тел – очень важный фактор для прогноза их распространения. Возраст и время формирования органогенных карбонатных построек могут различаться в зависимости от времени максимальной трансгрессии морского бассейна. Поэтому поиск и прогноз распространения карбонатных пород необходимо проводить на базе литолого-фациальных исследований. После проведения литолого-фациального анализа необходимо оценить и установить закономерности изменения литологического состава. В общем виде эти закономерности проявляются в увеличении доли терригенной (глинистой) составляющей в прикровельной и приподошвенной частях БС и повышении генерационного потенциала вверх по разрезу.

Породы, которые имеют преимущественно кремнистый и карбонатный состав, являются потенциальными коллекторами с емкостью трещинного и порово-трещинного типа. Они наиболее предрасположены к образованию трещин в результате тектонических движений или иных воздействий, выразившихся в резком снижении пластового давления и изменении напряженного состояния этих пород. Признаки такого воздействия можно наблюдать на керне (рис. 4).

Для оценки свойств разреза, с точки зрения того, какие породы и при каких начальных условиях следует подвергать гидроразрыву, необходимо охарактеризовать разрез по упруго-прочностным свойствам слагающих пород. Для этого следует провести исследования пород в условиях неравномерного сжатия. Коллекция керна должна включать все основные типы пород, особое внимание необходимо обратить на кремнистые и карбонатные разности. Ожидается, что последние будут наиболее хрупкими и разрыв их сплошности произойдет при меньших внешних давлениях. Такая информация необходима как для проектирования дизайна ГРП, так и для оценки работы пласта в целом.

### Основные подходы к разработке баженовской свиты

При наличии значимых запасов следующим ключевым фактором является проницаемость пласта. В настоящее время главным механизмом, обеспечивающим приток флюида в скважины баженовской свиты, является фильтрация нефти через систему естественных протяженных трещин пласта. Однако естественная трещиноватость развита слабо, а проницаемость матрицы находится в пределах  $0,001-10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Возможно, именно этим объясняется отсутствие притока в скважинах с явно нефтенасыщенным керном.

В связи с отмеченным основной технологической задачей разработки БС является создание вторичной проницаемости нефтенасыщенной матрицы за счет плотной системы наведенных трещин. Это обеспечивает технология бурения горизонтальных скважин с множественными ГРП. Подобная технология успешно и широко используется в США для добычи сланцевого газа из пластов – аналогов БС. В России данная технология не применялась. При этом основной задачей ГРП является обеспечение интенсивного растрескивания пласта, создание вторичной проницаемости в зоне дренирования скважины.

Для успешного применения данной технологии и определения оптимальных дизайнов ГРП необходимо точное определение геомеханических свойств пласта на основе создания корректных геомеханических моделей.



- Стабильность потока и минимальное время простоя при остановке/пуске скважины и трубопровода, прочистке, сбросе давления

- Снижение риска блокировок гидратами, парафинами и асфальтенами; минимизация последствий блокировки

- Эффективная эксплуатация промысла на основе постоянно действующей модели многофазных потоков в скважине, системе сбора и транспорта продукции

be dynamic

**SPT GROUP**

[www.sptgroup.com](http://www.sptgroup.com)

119311 Россия, Москва,  
пр-т Вернадского, 8А, башня А,  
Тел: + 7 495 798 86 66  
e-mail: [agr@sptgroup.com](mailto:agr@sptgroup.com)





Рис. 4. Густая сеть техногенных трещин, развитых на «горбушке» керна (а), и отсутствие трещины внутри керна (б)

Fig. 4. Thick network of technogenic fractures found on core end pieces (a) and absence of fractures inside the core (b)

### Закключение

Несмотря на кажущуюся изученность, баженовская свита остается непознанным объектом как для геологов, так и для разработчиков. Современные характеристики отложений определяются совокупным действием множества факторов, поэтому авторы считают необходимым обозначить круг наиболее актуальных в настоящее время вопросов, поиску решения которых будет посвящена в дальнейшем научно-исследовательская работа в рамках Целевого Инновационного Проекта:

- » модель коллектора: вещественный состав, петрофизические свойства и закономерности;
- » содержание подвижной нефти: методика определения и оценки запасов;
- » технологии локализации продуктивных зон: закономерности распределения, возможности современных дистанционных методов и технологий регионального прогноза;
- » механико-прочностная модель: методика определения параметров и технология моделирования;
- » выбор оптимальных технологий разработки: ГРП, химические, тепловые и другие методы, а также пиролиз.

### Список литературы

1. Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. – Баженовский горизонт Западной Сибири. – Новосибирск, 2003 г.
2. Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. Баженовский горизонт западной Сибири. Новосибирск. – М.: Наука, 1986. – 216 с.

should include all major types of rock, with special attention paid to siliceous and carboneous variations. It is expected that the latter may be more fragile and fracturing their entirety will be possible with a lower external pressure. This information is necessary both for the design of HF and the evaluation of the formation in general.

### Principal ways of approaching the development of Bazhenov Suite

In the presence of significant reserves the next key factor is reservoir permeability. At this time the main vehicle providing the inflow of fluid into the wells of Bazhenov Suite is the filtration of oil through a system of naturally extended

fractures of the reservoir. However, the natural fracturing is poorly developed and permeability of the matrix is only about  $0.001 \times 10^{-3} \text{ mkm}^2$ . This is possibly the reason for lack of well migration with apparently oil-saturated core.

Considering the above, the main technological objective in developing the area is to create a secondary oil-saturated matrix through a dense system of induced fractures. This is done by drilling horizontal wells with multiple HF. Similar technology is widely and successfully used in the USA for shale gas mining from beds similar to those in the Bazhenov Suite. This technology has not been used in Russia. Thus the main objective of HF is inducing an intensive fracturing of the bed and creating secondary permeability within the well drainage area.

For the successful application of this technology and the determination of optimal HF design, precise assessment of geomechanical properties for the bed based on proper rock models is necessary.

### Conclusion

Despite appearing well-studied, the Bazhenov Suite remains an unknown quantity for geologists as well as for operators. Modern studies are determined by the joined influence of a number of factors, therefore the authors deem it necessary to define a range of important issues, for which clarification will be sought after further research work has been performed within the Targeted Innovative Project:

- » reservoir modeling: material constitution, petrophysical properties and patterns;
- » movable oil content: methods of determination and reserves estimation;
- » technologies for the location of producing zones: patterns of distribution, capabilities of modern remote action methods and technologies of regional forecasting;



3. О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты/ Е.А. Предтеченская, Л.А. Кроль, Ф.Г. Гурари [и др.]// Литосфера. – 2006. – №4. – С. 131-148.
4. Захаров В.А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии. В сб. Эволюция биосферы и биоразнообразия. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 552-568.
5. Захаров В.А., Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г. Первая находка следов жизнедеятельности в высокоуглеродистых черных сланцах баженовской свиты Западной Сибири//Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – №3. – С. 402-405.

2. Braduchan Y.V., Gurary F.G., Zakharov V.A. Bazhenov horizon of Western Siberia. Novosibirsk. – М.: Nauka, 1986 – p. 216.
3. On the genesis of carbons within Bazhenov Suite of central and south-eastern regions of Western Siberian plate. / E.A. Predtechenskaya, L.A. Krol, F.G. Gurary [and others]. //Litosfera, 2006, #4. P. 131-148.
4. Zakharov V.A. Formation conditions of Volga-Berriasian high-carbon Bazhenov Suite in Western Siberia based on paleoecology data. From collected works "Evolution of biosphere and biodiversity". – М.: Scientific publications partnership KMC, 2006. P. 552-568.
5. Zakharov V.A., Zanin Y.N., Zamiraylova A.G. First discovery of traces of vital activity in high-carbon black shales of Bazhenov Suite in Western Siberia//Geology and Geophysics, 1998. V. 39. – #3. – P. 402-405.

- » mechanical-stress model: methods for determining parameters and modeling technologies;
- » selection of the optimal development method: HF, chemical, thermal etc, and also pyrolysis.

### List of Literature

1. Resolution of 6th interdepartmental stratigraphic conference on review and approval of revised stratigraphic diagrams for Mesozoic sediments of Western Siberia. – Bazhenov horizon of Western Siberia. Novosibirsk, 2003.

Эта статья была опубликована в Научно-техническом вестнике ОАО «НК Роснефть», №4, 2010 г., с.20-25; ISSN 2074-2339, и заняла третье место в конкурсе на лучшую публикацию в вестнике в 2010 г. Напечатано с разрешения редакционной коллегии.

This article was published in the NK Rosneft Scientific and Technical Newsletter (Nauchno-tehnicheskii Vestnik ОАО "NK "Rosneft", No.4, 2010, pp. 20-25; ISSN 2074-2339) and won the 2-nd prize in the 2010 competition for the best publication in the newsletter. Printed with permission from the Editorial Board.



## Самый передовой multifunctional калибровочный прибор DPI 620 и DPI620IS



Датчик давления PTX 66I Hammer Union был разработан специально для использования в суровых климатических условиях при бурении как морских, так и континентальных скважин, где часто встречаются трясина и сильная вибрация.

- Диапазон измерений от 0-5000 паскаль (MPa) до 0-15000 паскаль (MPa)
- Погрешность измерений  $\pm 0.1$  FS
- Совместим с NACE MR 01-75
- Искробезопасность сертифицирована CENELEC
- класс I, раздел I по FM/CSA
- отметка CE
- быстрое время отклика (2 kHz)
- утверждено по ГОСТ

- multifunctional possibilities: measurement of electric current, frequency, temperature and pressure
- approved ATEX/IEC
- supplied with full HART-communicator