



**Баженовская свита:
в поисках большой сланцевой
нефти на Верхнем Салыме**

**The Bazhenov Formation:
In Search of Big Shale Oil
in Upper Salym**

Настоящая статья посвящена работе, которая проделана в компании «Салым Петролеум Девелопмент Н.В. (СПД)» при подготовке к проекту опытно-промышленной эксплуатации баженовской свиты. Реализованная программа исследований позволила выявить уникальные геологические особенности баженовской свиты Верхне-Салымского месторождения, которая по своему принципиальному строению оказалась очень похожа на формацию Баккен в США, что дает возможность её разработки хорошо зарекомендовавшими себя методами.

Введение

В последнее время ведущие позиции новостных лент все чаще занимают сообщения об успехах нетрадиционной энергетики. Нарастание в США добычи углеводородов высокими темпами за счет разработки сланцевых месторождений побуждает структуры, так или иначе связанные с энергетикой, реагировать на это. Одни видят в этом угрозу снижения цен на энергоносители, другие — возможность наращивания добычи, третьи — надежду обеспечить себе энергетическую независимость за счет собственных ранее недоступных резервов.

Сланцевая энергетика является закономерным следствием высокого спроса на энергоносители, ограниченности традиционной ресурсной базы и достижениями современного технологического прогресса. Технологии добычи сланцевых углеводородов по своей наукоемкости и капиталовложениям сравнимы с программами по освоению космоса, поэтому даже крупные мировые добывающие компании пытаются объединить свои усилия и разделить риски для разработки сланцевых месторождений, но зачастую даже им не обойтись без должной государственной поддержки.

Россия является одним из признанных мировых лидеров по добыче нефти и газа, но истощенность традиционных месторождений требует изыскивать новую ресурсную базу по масштабам сопоставимую с крупнейшими разрабатываемыми нефтегазоносными провинциями. В качестве равнозначной альтернативы рассматриваются освоение арктического шельфа и огромного потенциала самой большой в мире сланцевой формации — баженовской свиты, которая распространена практически по всей Западной Сибири. Если разработка арктического шельфа связана с созданием инфраструктуры в суровых непригодных для постоянного проживания человека районах, то баженовская свита развита в районах со сложившейся нефтедобывающей инфраструктурой, прямо на территории разрабатываемых месторождений. Её освоение для России имеет огромное социальное значение, так как снижение добычи нефти и газа в Западной Сибири в первую

This article looks at the work performed by Salym Petroleum Development N.V. for the pilot development of the Bazhenov Formation. The research program has helped to identify key geological features of the Bazhenov Formation of the Upper Salym field, which have helped define the ways of drilling, completion, field development and hydrocarbon reserves estimation.

Introduction

Mainstream news has recently been reporting about the success of alternative energy and oil and gas production has significantly increased in the US due to the “shale gale”. This has had a knock on effect to many other organisations related to the power industry and they have reacted accordingly. Some people see this associated energy cost reduction as a threat, others see it as an opportunity to increase production, and others see this as a chance to gain energy independence.

The hunt for shale oil is a direct result of high energy demand, limited traditional resources bases, and the use of new technology able to reduce production costs. You can compare the cost of research and technology for shale oil deposits with space exploration, so it is no wonder that even the big IOCs are combining their efforts in order to share the burdens and risks. Even combined efforts are sometimes in vain however without due support from Governments.

Russia is one of the recognized world leaders in the production of oil and gas, but the depletion of traditional fields requires the establishment of a new resource base comparable in its size with the largest producing oil and gas provinces. Equivalent alternatives are the development of Arctic shelf, and indeed the Bazhenov Formation, which is prevalent almost right across western Siberia and is the world’s largest oil shale formation. The development of the Arctic shelf needs significant infrastructure development, and lies in regions with very harsh climatic conditions unsuitable for permanent human settlements. On the other hand, the Bazhenov formation occurs in areas with developed oil producing infrastructure, and indeed in the territory of producing fields. For Russia, its development is of great social importance, as the decline in oil and gas production in Western Siberia will affect the well-being of many Western Siberian cities and towns in which oil and gas companies are the major employers.

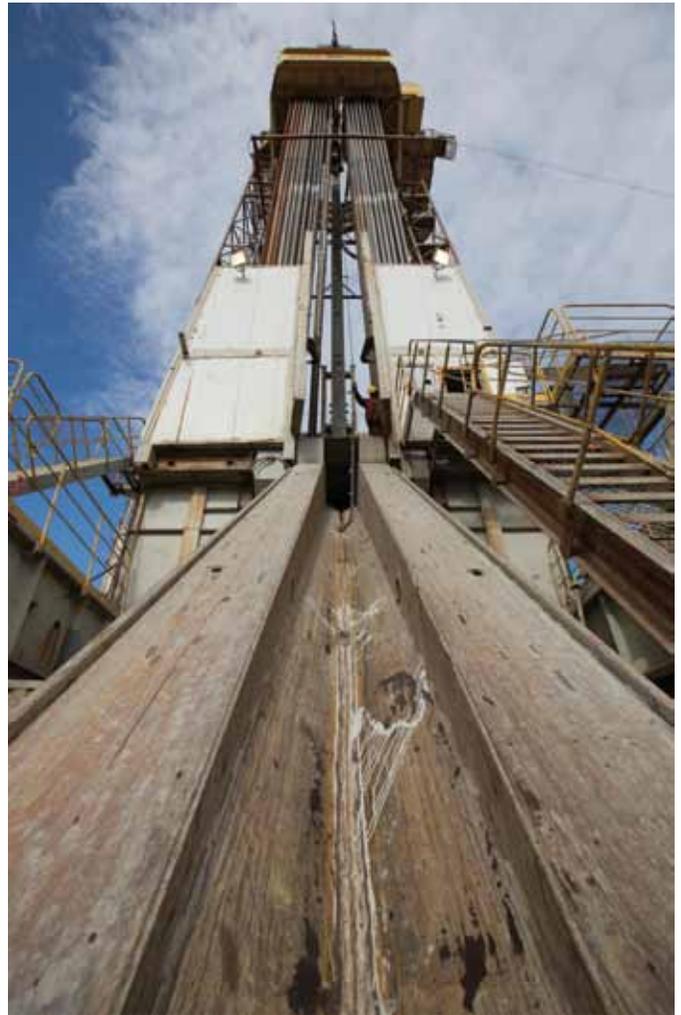
Because of these facts, the development of the Bazhenov is being discussed across multiple media platforms, including scientific, economic and political. When reviewing the reports, readers would quite rightly end up bewildered at the inconsistency of figures and estimates. Light oil estimates in the Bazhenov range from 600 million to 174 billion tons [1, 2]. As a comparison, the middle of this range is larger than the total initial geological reserves of light oil in all known oil and gas provinces of Russia.

очередь скажется на благополучии многочисленных западно-сибирских городов и населенных пунктов, в которых компании нефтегазовой отрасли являются основными работодателями.

Ввиду острой актуальности тематика баженовской свиты активно обсуждается в прессе самой разной направленности от сугубо научной до экономической и политической. Анализируя печатные и интернет-издания, у любого вдумчивого читателя остается только недоумение по поводу противоречивости приводимых в них цифр и оценок. Так, оценки ресурсной базы легкой нефти баженовской свиты колеблются от 600 млн. до 174 млрд. тонн [1, 2]. Для сравнения, середина этого диапазона – это больше, чем суммарные начальные геологические запасы легкой нефти всех известных нефтегазоносных провинций России вместе взятых. Другая отличительная черта, которой наделяют баженовскую свиту, – это от микродарси (10^{-6}) до нанодарси (10^{-9}) и даже фемтадарси (10^{-15}) [3], при этом во множестве публикаций упоминается о естественных (без специальной стимуляции) нефтяных фонтанах в десятки и даже сотни кубометров в сутки, полученных из баженовской свиты в результате испытаний [4, 5, 38 и мн. др.]. При такой низкой проницаемости и реальных возможностях создания депрессии на пласт просто физически не возможно получить хоть сколько-нибудь значимые притоки в принципе, не говоря уж о подобных фонтанах.

Отсутствие у геологов четкого понимания проблематики баженовской свиты не позволяет предложить правительству прозрачные механизмы снижения налоговой нагрузки на недропользователей, которые готовы осуществлять разработку только в случае, если она будет рентабельной. Причина в том, что эти отложения ведут себя по-разному. В одних случаях дебиты скважин оказываются настолько большими, что нефть сама за счет пластовой энергии может поступать на станции нефтесбора, расположенные в десятках километров от скважин. В других, скважины не дают вообще никаких притоков даже после всевозможных дорогостоящих стимуляций, причем те и другие зачастую пробурены рядом, в похожих геологических условиях. Таким образом, недропользователи и инвесторы, планирующие заняться разработкой баженовской свиты, сталкиваются с огромным масштабом неопределенностей и рисков.

Благодаря реализованной в компании «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» программе исследований, удалось получить ответы на ключевые вопросы, связанные с геологическими особенностями баженовской свиты Верхне-Салымского



Another distinctive feature associated with the Bazhenov Formation is an extremely low permeability ranging from a microdarcy (10^{-6}) to a nanodarcy (10^{-9}), and even to femtodarcy (10^{-15}) [3]. At this level many publications reported natural flow of tens or even hundreds of cubic meters per day (without special well interventions) [4, 5, 38, and many others].

With such low permeability and real possibilities of creating drawdown it would not be feasible to cause any significant inflows in principle, say nothing of natural flow.

This lack of a clear understanding by geologists regarding the problems of the Bazhenov makes it very difficult for the RF Government to implement tax breaks for subsoil users willing to develop fields. The main reason is that the Bazhenov deposits behave unpredictably. In some instances, production rates are so high that the oil itself can be supplied to a central processing facility located dozens of kilometres from the wells due to the high formation pressure. In other cases, wells do not flow at all even after multiple and expensive well intervention operations. Indeed two wells can often be drilled very close to each other in similar geological conditions and produce completely different

“Если вы думаете,
что нанять
профессионала это
дорого... попробуйте
нанять любителя”

Мы установили свыше 11,650 систем StackFRAC® для необсаженных скважин, обеспечив свыше 146,200 стадий ГРП. Свяжитесь с нами сегодня и позвольте помочь увеличить ваши активы.

Тел +7-499-400-13-91



СДЕЛАТЬ ОДИН РАЗ. СДЕЛАТЬ ПРАВИЛЬНО.

месторождения. В результате в компании есть четкое видение стоящих перед ней задач по вовлечению нефтяного потенциала этих отложений в разработку и сформирована обоснованная стратегия дальнейших действий.

Салымский проект

Компания «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» (СПД) — совместное предприятие, созданное в 1996 году для освоения Салымской группы нефтяных месторождений в Западной Сибири. В эту группу входят: Западно-Салымское, Ваделыпское и Верхне-Салымское месторождения, расположенные на юге Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Акционерами СПД являются на паритетных началах концерн «Шелл» и компания «Газпром нефть». Полномасштабная разработка месторождений началась в 2003 году, и в 2011 году при эксплуатационном фонде более 600 скважин пройден пиковый уровень добычи в 8.3 млн. т нефти в год. В настоящее время фонд скважин превысил 820 шт., 15 из которых являются водозаборными. Основными разрабатываемыми объектами являются нижнемеловые отложения черкашинской (AC_9 - AC_{11}) и ахской свит (BC_8), в опытно-промышленной эксплуатации находятся также пласты ачимовской свиты.

Суть подходов СПД заключается в том, чтобы взять за основу все самое ценное и передовое из российского опыта нефтедобычи и соединить это с лучшими достижениями своих акционеров и других ведущих нефтяных компаний. В итоге получается свой уникальный продукт, который выделяет компанию из общего числа нефтедобывающих предприятий мира. Об эффективности таких подходов свидетельствуют многочисленные награды и признания СПД как в России, так и за рубежом в области освоения нефтяных месторождений, охраны окружающей среды, труда и здоровья [6, 7]. СПД впервые в России и первой среди компаний концерна «Шелл» реализовала полномасштабный проект по внедрению технологии «умных месторождений» на всем фонде скважин нефтепромысла, совместно со своими подрядчиками добилась высоких результатов в бурении скважин (рекорд — 4,54 суток), среднего времени ввода скважин в эксплуатацию (5,48 суток), по метражу отбора керна со 100% выносом за однуспуско-подъемную операцию (78,93 м), по времени проведения полного-комплекса каротажных исследований в открытом стволе (2 ч. 55 мин.) и мн. др. [6].

В настоящее время компания СПД приступила к реализации двух пилотных проектов, призванных изменить подходы к способам добычи нефти в Западной Сибири: повышения нефтеотдачи путем

results. With this in mind, operators and investors looking to develop the Bazhenov face great risks and uncertainties.

Due to SPD's research program, we have answered some of the key questions related to the geological features of the Bazhenov formation of the Upper Salym field. As a result, the company has a clear vision of what needs to be done to develop this formation, and a viable strategy for future operations.

Salym Project

Salym Petroleum Development N.V. (SPD) is a joint venture established in 1996 to develop the Salym group of oil fields in Western Siberia. This group includes West Salym, Vadelyp and Upper Salym fields located south of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. The SPD shareholders on a parity basis are Shell and Gazprom Neft. Full-scale development began in 2003, and in 2011, SPD hit peak production at 8.3 million tons per year through 600 wells. Currently, the company has over 820 wells, 15 which are water source wells. The main development targets are Lower Cretaceous deposits of Cherkashin (AC_9 - AC_{11}) and Akhsk formations (BC_8); and deposits of the Achimov Formation are also in pilot production.

The SPD approach is to blend the most advanced Russian experience of oil production and combine it with the latest technology from its shareholders and other leading world oil companies. As a result, SPD gets a unique product which sets the company apart from other oil companies around the world. The effectiveness of these approaches is backed up by numerous awards and recognition both in Russia and abroad in the field of oil production, health, safety and environment and health care [6, 7]. SPD is the first company both in Russia and among the first in Shell, to implemented a full-scale “Smart Fields” technology for the entire well stock and, together with its contractors, has achieved excellent results in well drilling (the record is 4.54 days), with the average time of well completion being 5.48 days, 100% recovery per one run for coring (78.93 m), an open hole logging time of 2 hours 55 minutes, among many other achievements [6].

Currently, SPD has launched two pilot projects aimed at changing attitudes to oil production techniques in Western Siberia: to enhance oil recovery by injecting chemicals into the formation and to start the pilot development of the Bazhenov Formation. This article focuses on the first phase of the Bazhenov pilot project aimed at resolving high priority geological tasks. Work started with exploration of the deep horizons and ended with a model of the Bazhenov Formation deposits of the Upper Salym field as the most promising for further development.

закачки химических реагентов в пласт и опытно-промышленной разработки (ОПР) баженовской свиты. Данная статья посвящена результатам первого этапа работы по проекту ОПР баженовской свиты, направленным на решение первоочередных геологических задач. Эта работа стартовала с планирования доразведки глубоких горизонтов и закончилась построением геологической модели отложений баженовской свиты Верхне-Салымского месторождения, как наиболее перспективных для дальнейшей разработки.

Доразведка глубоких горизонтов на Салыме

На территории Салымской группы месторождений в период с 1966-1993 гг. с целью изучения юрских отложений пробурено и опробовано 16 глубоких скважин. Этот интервал разреза, представленный баженовской, абалакской и тюменской свитами, испытывался на приток совместно, в результате в большинстве скважин получены дебиты безводной нефти, которые не превысили 10-15 м³/сут. Это были времена большой западносибирской нефти, поэтому низкодебитные пласты не изучались должным образом. В скважинах выполнялся минимальный комплекс геофизических исследований, как правило, невысокого качества. Зачастую отсутствовали базовые методы радиоактивного и акустического

Supplementary Exploration of Salym's Deep Horizons

Between 1966 and 1993, 16 deep wells were drilled in the Salym group of fields to explore the Jurassic deposits. This section interval, represented by the Bazhenov, Abalak and Tyumen formations, was the subject of commingle testing; as a result, water-free oil was produced in most of the wells with flow rates not exceeding 10-15 m³/day. These were back in the days of big West Siberian oil, so low production rate formations were not studied properly. A minimum range of geophysical surveys, most of low quality, were conducted in the wells. In most cases, basic methods such as radioactive or sonic logging, which are very useful complex geological sections, were not even used. Core samples were taken in some wells, but it were then lost forever before SPD obtained its license. Almost all oil flows from the Jurassic horizons were produced within one license area – Upper Salym, and no studies to determine the affinity of the oil flows to certain intervals were conducted. Because of this, the exploration maturity of the Jurassic interval of the section is extremely low.

Between 2009 to 2011, in the Upper Salym field, SPD implemented a program of additional exploration of the Jurassic section. The company drilled three exploration wells, two of which were used to conduct various studies including mud logging, coring, standard and special open hole logging and production log (PLT) during the well testing. The aggregate of all these methods enables us

Ощутите прогресс.

Краны для буровых платформ

- Технология и инновации
- Опыт
- Компетенция
- Качество
- Сервис

OE 2013
Offshore Europe
 3rd-6th September 2013 | Aberdeen, UK
Booth 4B151



Liebherr-Werk Nenzing GmbH
 Dr. Hans Liebherr Str. 1
 6710 Nenzing/Austria
 Tel.: +43 50809 41-481
 offshore.crane@liebherr.com
 facebook.com/LiebherrMaritime
 www.liebherr.com

LIEBHERR
 Группа компаний

каротажей, которые наиболее информативны для сложных геологических разрезов. В некоторых скважинах был отобран керн, но он был безвозвратно утерян ещё до получения лицензии компанией СПД. Почти все притоки из юрских горизонтов получены в пределах одного лицензионного участка — Верхне-Салымского, и никакие исследования для выяснения приуроченности притоков к определенным интервалам разреза не производились. Таким образом, изученность юрской части разреза являлась крайне низкой.

В период с 2009-2011 гг. на Верхне-Салымском месторождении компания СПД реализовала программу доизучения юрской части разреза. Пробурено три разведочных скважины, в двух из них реализован

исчерпывающий комплекс исследований по направлениям: геолого-технологических исследований (ГТИ) в процессе бурения, отбора керна, каротажа и промыслово-геофизических исследований (ПГИ) во время испытаний. Совокупность всех этих методов позволяет с большей достоверностью охарактеризовать такой сложный и изменчивый разрез, как отложения верхней и средней юры на юге ХМАО. Проведенные исследования показали, что почти все притоки нефти связаны с отложениями баженовской свиты, из чего был сделан вывод, что они являются наиболее перспективными для дальнейшей разработки.

Баженовская свита является очень сложным и нетрадиционным объектом разработки, для которого отсутствуют эффективные практики эксплуатации. Залежи нефти баженовской свиты не контролируются структурным фактором и не содержат подошвенных и законтурных вод, поэтому найти коллектор, который способен в результате стимуляции или без неё отдавать пластовый флюид, и оценить его свойства — означает снять большинство геологических рисков и неопределенностей. Разработка достоверной геологической модели залежей нефти в баженовской

to understand, with greater certainty, complex sections such as deposits of the upper and middle Jurassic in the southern part of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. The studies have shown that almost all oil flows are related to deposits of the Bazhenov Formation, and it was concluded that they are the most promising for the further development.



The Bazhenov formation is a very complex and unconventional development target for which there are no effective operational best practices. The oil deposits are not controlled by common geological features and do not contain any free waters, so in order to find a reservoir, with or without using well interventions, would require the elimination of most of the geological risks and uncertainties. Developing reliable models in the Bazhenov formation is a major challenge faced by geologists when planning cost effective field development.

Many scientific papers have been written about the Bazhenov Formation and, perhaps, it is the most studied geological formation in Western Siberia today. But the researchers have no consensus about its geological structure, especially when it comes to the location of pay zones. In order to navigate this variety of conflicting and often diametrically opposed concepts and points of view it is necessary to understand where the contradictions lie. This can be done by knowing the characteristics and conditions that shaped the views of the researchers.

The History and Current Status of Bazhenov Studies

Views and feelings of geologists and oilmen working at the Bazhenov were taken after events that happened in 1968 in Salym near the village of Gornopravdinsk (150 km from the

- 70 испытаний по стандарту ISO 13679 CAL IV
- Применение в 70 странах
- Выбор 200-ми операторами
- Спуск 7 млн. футов трубы с соединениями по технологии Dopeless®

TRUE BLUE®

Надежность. Опыт внедрения. Качество.

На протяжении последних десяти лет, соединения TenarisHydril Blue® не перестают доказывать высокую функциональность благодаря возможностям, превосходящим высокие отраслевые стандарты. Невзирая на периодические изменения в испытательных протоколах API RP 5C5, данная тенденция указывает на аналогичные в перспективе высокие показатели. Соединения Blue® отличаются уникальными характеристиками, обеспечивающими равносильную самой трубе 100% герметичность соединений, высокую устойчивость к перегрузкам и универсальность для работы во всех средах.

Надежность и эффективность при эксплуатации данных соединений неоднократно доказана на практике при использовании в самых сложных эксплуатационных условиях по всему миру. Без сомнений, выбор весьма очевиден. Узнайте подробнее о соединениях Blue® и их эксплуатационных характеристиках по ссылке www.tenaris.com/blue.

Технология, определяющая разницу.



Руководство по использованию TenarisHydril
Приложение доступно в App Store



TenarisHydril

свите, на основе которой можно планировать рентабельную разработку является главной и первоочередной задачей стоящей перед геологами.

По тематике баженовской свиты написано множество научных работ, пожалуй, она является самой изучаемой геологической формацией Западной Сибири в настоящее время. Но у исследователей нет единого мнения по поводу её геологического строения, особенно в вопросе выделения продуктивных зон. Только геологических моделей разработано более десятка, их краткое описание можно найти, например, в работе [8]. Для того чтобы сориентироваться во всем многообразии противоречивых и зачастую диаметрально противоположных концепций и точек зрения на баженовскую свиту, необходимо разобраться в источнике противоречий, что можно сделать только зная особенности и условия, в которых формировались взгляды на баженовскую свиту.

История и современное состояние изучения баженовской свиты

Пристальные взоры геологов и нефтяников на баженовскую свиту были обращены после событий, которые случились в

1968 году на Салымском месторождении близ поселка Горноправдинска (~150 км от Верхне-Салымского месторождения). Во время углубления разведочной скважины 12-Р на юрские отложения при забое 2840 м произошло неконтролируемое фонтанирование скважины нефтью, в результате которого буровая загорелась. По визуальной оценке дебит достигал порядка 700 т/сут. По поручению первого секретаря Тюменского обкома КПСС Б. Е. Щербина для расследования чрезвычайного происшествия была назначена прокурорская проверка. Усилиями лучших специалистов геологи пытались доказать, что в случившемся виноват не человек, а природный фактор. Нефтяной фонтан возник там, где в принципе его не могло возникнуть – при бурении «образцовых глин», при этом фактическое пластовое давление превысило ожидаемое почти в два раза! Близлежащие сверху и снизу песчаники отложений ачимовской и тюменской свит, соответственно, по самым



Upper Salym Field). When deepening exploration well 12-R to 2860 m in the Jurassic horizon, an uncontrolled oil well blowout occurred, resulting in a rig fire. By visual accounts the production rate reached about seven hundred tons per day. By order of B. E. Scherbina, the First Secretary of the Communist Party Committee of the Tyumen Region, a prosecutor's inspection was appointed to investigate the accident. The best professional geologists tried to prove that the incident was not caused by human error, but by natural factors. The blowout occurred in an area, where, in principle, it could not occur – while drilling in “standard shale”. But the actual reservoir pressure exceeded expectations by almost twice! The overlying and underlying sandstones of the Achimov and Tyumen formations, respectively, according to the most optimistic estimates, could only produce a maximum of 20-30 tons/day [9, 10, 11].

To determine the reason for the oil blowout, thanks to the insistence of A.V. Tyan, then head of the geological department of the Pravdinskaya Petroleum Exploration Expedition (PEE), and I.I. Nesterov, a Geology section head of ZapSibNIGNI, F.K. Salamanov, Chief of Pravdinskaya PEE, took the decision to drill a new exploratory well, 24-R, so that they could log and test every ten meters. In August 1969, this well penetrated the

Achimov horizon. At this level, only minor oil flow was seen, but when the drill bit reached the middle of the Bazhenov Formation, to everyone's surprise, natural flow of about 300-400 tons/day was produced! On this basis, August of 1969 can be considered a key starting point in the study of the Bazhenov Formation as a commercially oil-bearing formation. As a direct result, comprehensive studies began. Coring was very intensive in Western Siberian oil fields and was followed up by testing, with geological and research institutes beginning to analyse and process the incoming materials. Soon, oil-bearing capacity was discovered in the Studyonaya, Verkhne-Shapshinskaya, and Multanovskaya prospecting areas [9, 10, 11].

By 1974, pilot commercial development of the Salym test field had already begun. 72 wells were drilled on a trial plot of 10,035 hectares, of which 11 were dry, 25 were shut in with production of less than 1000 tons, and 19 wells exceeded 20,000 tons. Due to the oil-wet rock and specific reservoir characteristics, development was



ТМК — первый
российский производитель
стальных труб
с 13 % хрома

13 Cr

НА СУШЕ

В МОРЕ

CO₂

ЗАО «Торговый Дом «ТМК»
105062, Россия, Москва,
ул. Покровка, д.40, стр. 2а
тел.: +7 495 775-7600
факс: +7 495 775-7601
www.tmk-group.ru

ТМК-Премиум Сервис
105062, Россия, Москва,
Подсосенский пер., д. 20, стр.1
тел.: +7 495 411-5353
факс: +7 495 411-5363
E-mail: premium@tmk-group.com

НКТ и обсадные трубы из стали
с содержанием хрома 13% имеют
высокую стойкость к агрессивным
средам и используются, как самый
эффективный способ борьбы
с углекислотной коррозией

оптимистичным оценкам могли дать максимум 20-30 т/сут [9, 10, 11].

Для выяснения приуроченности нефтяного фонтана, благодаря настойчивости тогдашних начальника геологического отдела Правдинской нефтеразведочной экспедиции (НРЭ) А.В. Тяна и заведующего сектором геологии ЗапСибНИГНИ И.И. Нестерова, начальником Правдинской НРЭ Ф. К. Салмановым было принято решение о бурение новой разведочной скважины 24-Р, где в целевой части разреза через каждые десять метров планировалось делать каротаж и проводить испытания. В августе 1969 года эта скважина прошла ачимовскую толщу, при этом были зафиксированы лишь небольшие проявления нефти, но когда забой достиг середины баженовской свиты, то, к удивлению всех, был получен мощный фонтан в 300-400 тонн нефти в сутки! Таким образом, август 1969 года можно считать отправной точкой в изучении баженовской свиты как промышленно нефтеносной формации. При этом изучение стартовало по всем возможным фронтам. На западносибирских месторождениях активно стали отбирать керн и испытывать эти отложения, а научные геологические институты стали анализировать и обрабатывать поступающие материалы. Вскоре была открыта нефтеносность баженовской свиты Студеной, Верхне-Шапшинской, Мултановской разведочных площадей [9,10,11].

Уже в 1974 году была начата опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ) опытного участка Салымского месторождения. На участке в 10035 га было пробурено 72 скважины, из которых 11 оказались «сухими», 25 скважин были выведены из разработки с накопленной добычей менее 1 тыс. т, и только в 19 скважинах накопленная добыча превысила 20 тыс. т. Ввиду гидрофобности и специфичности коллектора разработка велась исключительно на естественном режиме с частичным разгазированием [12].

Такая удручающая статистика на самом перспективном опытном участке разрушила радужные перспективы по поводу добычи нефти из баженовской свиты, но стимулировала большой научный интерес к этой проблематике, пик которого пришелся на середину 1980-х годов. В Советском Союзе практически в каждом крупном нефтегазовом геологическом научно-исследовательском институте присутствовал отдел по изучению проблематики баженовской свиты. О глубине и масштабе исследований могут свидетельствовать сборники трудов ряда институтов: ЗапСибНИГНИ, СибНИИНП, ИГиРГИ и др.[3,13,14]. В 1985-1986 гг. сразу два отчета по подсчету

carried out solely with the natural reservoir flow with partial degassing [12].

These depressing statistics, ostensibly in the most promising area, ruined the bright expectations regarding potential oil production from the Bazhenov Formation. It stimulated great interest however which peaked in the 1980's. There was a department in every major oil and gas geological research institute in the Soviet Union dedicated to the study of the Bazhenov Formation. The works of a number of leading institutes like ZapSibNIGNI, SibNIINP, IGIIRGI, and others, prove the depth and scale of research works performed [3,13,14].

From 1985-1986, two reports on the evaluation of Bazhenov Formation deposits at the Salym field were finished, to be reviewed by the State Reserves Commission under the Council of Ministers of the USSR (USSR SC) [15,16]. So far however there is no accepted method, by the Russian Reserves Commission, for the calculation of oil reserves in the Bazhenov Formation, due mainly to lack of a clear view, is based on core samples, as to what is the reservoir. Core had been taken from 28 wells, with the total coring at the Bazhenov at 778.5 m, of which 325.4 m were recovered, i.e. 41.8% of the total penetration. The percentage of core recovery in wells ranged from 0.16% to 78.6% [15].

Because of these technical problems with coring, geologists had no way to accurately describe this cross section of the formation. Cores recovered to the surface were, as a rule, non-permeable rocks and, therefore had everyone guessing about the properties of the reservoir. The situation was aggravated by the fact that during the withdrawal of the core to the surface, a sharp decrease in vertical stress occurred, and with some cores being under abnormally high pore pressure (AHPP), they exploded and turned into powder (obviously, such behaviour is typical for low-permeability rock) or stratified. So at the moment, we have more than a dozen, often opposed geological models of the structure of the Bazhenov Formation.

These summaries can be found in papers [8,17]. Realizing that the models were inconclusive, the expert council accepted basic calculation parameters for estimating reserves at the Bazhenov. If the deposits are tested and a flow of oil to the well is produced, the net pay thickness is to be taken as 1/3 of the high-resistance part of the formation, and the values of open porosity and saturation are taken equal to 8% and 85%, respectively [18]. Obviously, such an approach is extremely basic and has no practical value.

The lack of information on all the core materials was not the key obstacle however. In the early stages of the study of the Bazhenov Formation, the impact of well design and methods of penetration on the oil flows produced were

запасов нефти и растворенного газа в отложениях баженовской свиты Салымского месторождения были подготовлены для рассмотрения в Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР) [15,16], но до сих пор так и не существует принятой ГКЗ методики подсчета запасов нефти в баженовской свите. Такая ситуация во многом сложилась из-за критической низкой охарактеризованности баженовской свиты керном. На дату обоих подсчетов запасов керн был отобран в 28 скважинах, суммарная проходка с отбором керна по баженовскому горизонту составила 778,5 м, вынесено 325,4 м, т.е. 41,8% от общей проходки. Процент выноса керна по скважинам изменялся от 0,16% до 78,6% [15].

Таким образом, из-за технологических проблем с отбором керна, у геологов не было возможности охарактеризовать разрез баженовской свиты полностью. Вынесенный на поверхность керн, как правило, был представлен неколлектором, поэтому каждый «в меру своей фантазии» сам домысливал характеристики коллектора. Ситуация усугублялась вследствие того, что во время подъема керна на поверхность происходило резкое снижение вертикального стресса, из-за чего отдельные участки, находящиеся под действием аномально высокого порового давления (АВПоД), взрывались,

observed. Experts were constantly engaged in debates, which have been continued to this day, about the best well design for the Bazhenov Formation. Much work has been done in this area [12,15,16], but the original problems still remain. Current thinking dictates that the most effective way of well completion in the Bazhenov Formation is the use of a slotted liner. This completion method was proposed by F.G. Gurari, who discovered the Bazhenov formation [19].

A significant decline in the study of the Bazhenov took place during the 1990's, and interest was only rekindled in 2006 when the RITEK company received a license to develop the Middle Nazym and Galyanov fields where the main prospecting developments are associated with the Low Tutleyim subformation – an analogue of the Bazhenov Formation in the west of Western Siberia [19]. In 2007, based on logging data obtained from an open hole, a few studied core samples and PLT data of natural flowing wells, the specialists of CJSC "MiMGO n.a. V.A. Dvurechensky" under the leadership of V.S. Slavkin, hypothesized that the main inflow intervals in the Bazhenov Formation in these fields are tight carbonized fractured streaks (TCFS) [20]. This hypothesis was at odds with the prevailing basic theory that the main inflow intervals in the Bazhenov Formation are organic rich shale, foliated and sheeted abnormally high formation pressure (AHFP) [13,15,16]. For the development of the Bazhenov



ONE NABORS

Бурение и обслуживание буровых

Компания Nabors консолидировала все услуги по проведению буровых работ и обслуживанию буровых в единую организацию. Буровая составляющая этого бизнес подразделения представлена нашими глобальными услугами по проведению буровых работ, а услуги по обслуживанию буровых работ включают производство оборудования, оснащение КИП, оптимизацию ПО и услуги по наклонно-направленному бурению.

Услуги по заканчиванию и эксплуатации

Это бизнес-подразделение занимается услугами по заканчиванию, обслуживанию, глушению и ликвидации скважин. Оно состоит из трех продуктовых линеек. Первая линейка включает услуги по обслуживанию скважин и работе с колтюбинговыми установками, вторая включает услуги по перекачке под давлением, а третья продуктовая линейка касается работы с жидкостями, включая их производство, транспортировку, хранение и утилизацию.

Для дополнительной информации

International.Sales@nabors.com www.nabors.com



рассыпаясь в трещину (очевидно, что такое поведение характерно низкопроницаемым разностям), или расслаивались. В итоге на сегодняшний момент мы имеем не один десяток зачастую диаметрально противоположных геологических моделей строения баженовской свиты. Их краткие обзоры можно найти в работах [8, 17]. Понимая что, ни одна из моделей не является достаточно обоснованной, экспертный совет ГКЗ рекомендовал при оперативных оценках запасов отложений баженовской свиты основные подсчетные параметры принимать условно по следующему критерию. В случае, если отложения испытаны и получен приток нефти, то эффективная нефтенасыщенная толщина принимается как 1/3 от общей высокоомной части свиты, величины открытой пористости и нефтенасыщенности берутся равными 8% и 85% соответственно [18]. Очевидно, что такой подход является исключительно формальным и не несет никакой практической ценности.

Но недостатком информации по керновому материалу все не ограничилось. Уже на ранних стадиях изучения баженовской свиты было замечено влияние конструкции скважины и способов вскрытия на получаемые притоки. Между



специалистами возникла полемика, продолжающаяся по сей день, по поводу оптимальной технологии вскрытия и конструкции скважин на баженовскую свиту. Большая работа в этом направлении проделана в рамках работ [12, 15, 16], но первопричины так и не были выяснены. До сих пор принято считать, что наиболее эффективным способом закачивания скважин на баженовскую свиту является целевой фильтр. Этот способ заканчивания скважин предложен еще Ф.Г. Гурари – первооткрывателем баженовской свиты [19].

В связи с известными событиями 90-х годов прошлого столетия был отмечен значительный спад в изучении баженовской свиты и вспыхнул вновь в 2006 году, когда компания ОАО «РИТЭК» получила лицензию на разработку Средне-Назымского и Гальяновского месторождений, на которых основные перспективы разработки связаны с нижнетутлеймской подсвитой – аналогом баженовской свиты на западе Западной Сибири

Formation this fact is of crucial importance. In the case of foliated shale, the permeability is due to the availability of AHPP that supports the void space between individual layers, so artificial lift, which creates significant drawdown pressure on the formation, is absolutely contraindicated for such reservoirs. If artificial lift is used, the space between layers will collapse, permeability will disappear, the well will cease to produce oil, and the pump will fail. The TCFS hypothesis actually claimed that the reservoirs have a hard framework, and due to significant drawdown pressures the permeability will not disappear. In fairness it should be noted that one of the first who began to associate productivity of the Bazhenov Formation with tight streaks was M.Y. Zubkov and his colleagues [21, 22], who called these interlayers “potentially productive” (PPI).

In 2007, the Middle Nazym field of the Bazhenov was operated with ESPs, and test runs were conducted to stimulate inflows by pumping acid into the formation. By mid-2009 more than one third of all production stock in the Middle Nazym was being mechanically produced, and the most effective way to stimulate the inflow was acid treatment of the bottom hole [8, 23]. After studying the core samples, it was found out that the main oil bearing beds in the Bazhenov Formation to the west of the Ob

River Region are transformed radiolarite layers, which, depending on the nature of these transformations, are either aporadiolarite limestone, dolomite or silicite (silica radiolarite) [24, 25, 26, 27]. These interlayers are mainly porous fractured voids, with some porosity at 16%, and permeability is at 10 mD. Log curves display them as tight streaks [8, 20, 23].

Many researchers now recognize that, in the Ob River Region at least, commercial oil bearing capacity of the Bazhenov Formation is associated with the presence of tight streaks of secondary radiolarites and Bazhenov underlying carbonate layer COP1 [17]. They are easily recognizable from the log data, and the main task for geophysicists is learning how to evaluate the reservoir properties and forecast their dimensions. The contrasting properties of these layers make it possible to use seismic data to identify the most productive zones. Such works are now being actively performed in the Federal State Unitary Enterprise “VNIGNI”, CJSC “MiMGO” [8, 40, 41], Moscow State Lomonosov University [42] and in the LLC “ZapSibGTs”.

[19]. В 2007 году на основе данных каротажа в открытом стволе, единичных образцов керна и промыслово-геофизических исследований фонтанирующих скважин, специалисты ЗАО «МиМГО им. В.А. Двуреченского» под руководством В.С. Славкина выдвинули гипотезу, что основными проводниками нефти в баженовской свите на этих месторождений являются плотные карбонатизированные трещиноватые прослои (ПКТП) [20]. Это гипотеза шла в разрез с основной господствующей теорией, что основными проводниками нефти в баженовской свите являются обогащенные органическим веществом листоватые и рассланцованные за счет аномально высокого пластового давления (АВПД) глины [13, 15, 16]. Для разработки баженовской свиты это обстоятельство имеет исключительно важное значение. В случае листоватых глин проницаемость обусловлена наличием АВПД, которое поддерживает пустотное пространство между отдельными листьями, поэтому механизированная добыча, при которой создается значительная депрессия на пласт, для таких коллекторов категорически противопоказана. В противном случае листы глин сомкнутся, проницаемость исчезнет, скважина перестанет давать нефть и насос выйдет из строя. Гипотеза ПКТП фактически утверждала, что коллекторы имеют жесткий скелет и при значительных

Currently, pilot commercial development of the Bazhenov Formation is being undertaken by three companies: Surgutneftegaz, Rosneft and RITEK. The highest activity is carried out by Surgutneftegaz, which has drilled more than 600 wells in the Bazhenov Formation over the last 30 years. The drilling results indicate that 37% of the wells were “dry”, 63% had oil flows (maximum up to 300 tons/day). In 2011, Surgutneftegaz produced 512 Ktons, Rosneft produced 82.4 Ktons, and RITEK in 2010 produced 117 Ktons of oil from the Bazhenov Formation [4, 28, 29].

The scope of outstanding issues, together with the giant light oil resources have attracted and continue to attract geologists of all levels ranging from young specialists to members Academy of Sciences and the Russian Academy of Sciences to solve the problems of the Bazhenov Formation. At different times, this problem was studied and is still being studied by the most eminent petroleum geologists of the USSR and Russia, namely members of the RAS A.E Kontorovich, I.I. Nesterov, member of the USSR Academy of Sciences and the Russian Academy of Sciences A.A. Trofimuk and many others. From the first oil blowout to the present day, 92 fields of light oil have been discovered within the Bazhenov Formation deposits [2], multiple methods of inflow stimulation have been trialled, including multi-stage hydraulic fracturing in horizontal wells that’s has proven to be successful in the shale deposits of North America.

Fekete Harmony™ – мощный и интуитивный инструмент для анализа

производительности скважин

Характеристика и оптимизация производительности ваших нефтяных, газоконденсатных и газовых скважин, используя специализированные инструменты для анализа и функцию сравнения кривых программного комплекса Fekete Harmony™.

Сравнение и прогнозирование показателей производительности нефтяных скважин с помощью быстрого и мощного инструмента построения цифровых моделей пластов.

Определение снижения производительности, вызванного проявлениями флюидов, или образующимися со временем повреждениями, или вследствие изначальных повреждений при бурении – для выбора наиболее подходящих скважин-кандидатов для ремонта.



fekete HARMONY



has
acquired

fekete

fekete.com

депрессиях на пласт проницаемость не исчезнет. Справедливости ради необходимо отметить, что одним из самых первых, кто стал связывать продуктивность баженовской свиты с плотными пропластками был М.Ю. Зубков с коллегами [21, 22], который назвал эти прослои потенциально продуктивными прослоями (ППП).

Уже 2007 году баженовскую свиту на Средне-Назымском месторождении стали эксплуатировать с ЭЦН и были проведены пробные работы по стимулированию притоков путем закачки кислоты в пласт. К середине 2009 г. более 1/3 всего добываемого фонда на Среднем Назыме было переведено на механический способ добычи и самым эффективным способом стимуляции притоков стала соляно-кислотная обработка призабойной зоны [8, 23]. Позже по результатам изучения керна, вынос которого к этому времени приблизился к 100%, было выявлено, что основными проводниками нефти в баженовской свите на западе Широкого Приобья являются вторично преобразованные слои радиоларитов, которые в зависимости от характера этих преобразований становятся либо апорадиоларитивым известняком, апорадиоларитивым доломитом или силицитом (апорадиоларитом) [24, 25, 26, 27]. Эти прослои в основном имеют порово-трещинный характер пустотности, пористость некоторых достигает 16%, проницаемость — 10 мД. В поле каротажных кривых они имеют каротажный облик маломощных плотных прослоев [8, 20, 23].

Сейчас уже многие исследователи признают, что в Широтном Приобье промышленная нефтеносность баженовской свиты связана с наличием в разрезе маломощных плотных прослоев вторичных радиоларитов и подстилающего эти отложения карбонатного слоя КС₁ (коррелируемый слой) [17]. Они легко распознаются по данным каротажа, и главная задача, которая стоит перед геофизиками, научиться оценивать их по площади. Контрастные свойства этих прослоев, позволяют привлекать данные сейсморазведки для выделения наиболее продуктивных зон. Такие работы сейчас активно развиваются в ФГУП «ВНИГНИ», ЗАО «МиМГО» [8, 40, 41], МГУ им. М.В. Ломоносова [42] и в ООО «ЗапСибГЦ» [21, 22].

В настоящее время опытно-промышленную эксплуатацию баженовской свиты проводят три компании: «Сургутнефтегаз», «Роснефть» и «РИТЭК». Наибольшую активность проявляет компания «Сургутнефтегаз», которая в течение 30 лет на баженовскую свиту пробурила более 600 скважин. По результатам бурения 37% скважин оказались «сухими», в 63% — получены притоки нефти (максимальные составляли до 300 т/сут.).

The production rates and statistics speak for themselves however. Even with its vast resources the aggregate oil production from the Bazhenov Formation only slightly exceeds 5 million tons for the whole history of the development [4,28, 29, 12].

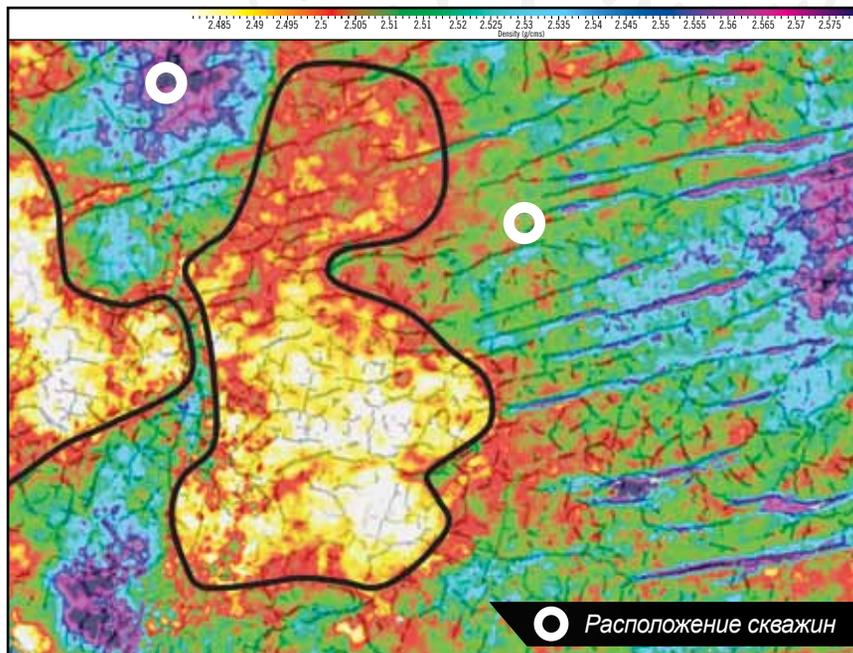
Looking back at the experience that has been accumulated, one can conclude that over the last 45 years a lot of work has been done in terms of studying the Bazhenov Formation. However, no modern oil companies are capable of implementing research programs comparable in scope to those already done. Positive changes in the geological study of this challenging field can only be achieved based by identifying weaknesses or inconsistencies in the historical research, data and experience. The main drawback of previous experience is the incomplete geological data. Only a 100% core recovery from producing wells, along with a wide range of geophysical, reservoir, geological, technological and laboratory studies will allow us to conclusively determine what characteristics enable the flow of oil into wells in certain intervals, and where the greatest oil resources are concentrated. Only with a sufficiently complete set of studies can we identify the most effective way of describing the properties of the Bazhenov Formation. Until now, such work has only been performed on two SPD wells drilled in the Upper Salym field. But this geological knowledge itself cannot guarantee the success of the entire project without the proper organization of the development technique.

The uniqueness of the Bazhenov as a shale formation is not only in its size (more than 1 million km²), but its natural oil flow, which distinguishes it from other shale formations around the world. There is not any shale formation in the world with natural flows as thick as those of the Bazhenov. It can produce hundreds of cubic meters of natural flow oil per day, or, in more than a third of the wells drilled, no production whatsoever .

The highest flow rate shown in official statistics totalled 1248 m³/day and was produced in vertical exploration well 141-R at the Salym field [15].

The availability of wells with a large range of flow rates (from “dry” to hundreds of m³/day) has helped to define a strategy to study this formation in a completely different way than has been done for other shale formations around the world. For example, if in other countries shale formations have been studied in terms of using well interventions for development, Russian scientists and geologists concentrate on the development of “sweet spots”. This is the fundamental difference between the Western and Russian approach. On this basis, one of the areas that is still not well defined in Russia is the technical aspects of well stimulation and design optimization to develop the Bazhenov. Therefore, Russian oil and gas

Снижение риска и неопределенности при оценке нетрадиционных резервуаров



Выявление предполагаемой зоны повышенной насыщенности УВ в нетрадиционном резервуаре:

На этой карте, взятой из проекта LakeviewSCAN™ корпорации ION, показано распределение плотностей в нижней части разреза сланцевой формации Марселлус с наложением прогнозируемых разломов. Рок-физическая калибровка позволила установить, что значения плотности ниже $2,5 \text{ г/см}^3$ соответствуют повышенному содержанию органики (POB) в породе (оконтуренные участки). Программы многокомпонентной сейсморазведки ResSCAN корпорации ION позволяют получить более достоверные оценки плотности за счет совместной PP/PS инверсии. Результаты интерпретации разрывных нарушений обнаруживают значительное изменение структурных характеристик на участках с повышенным содержанием органического углерода.

Сокращать затраты на разработку ресурсных сценариев помогают программы 3D сейсмических наблюдений ResSCAN™. Регистрация и обработка сейсморазведочных данных в рамках выполнения этих программ осуществляется подразделениями GeoVentures и GX Technology корпорации ION. Интеграция геологических и петрофизических данных с результатами рок-физического анализа позволяет определить, какие сейсмические атрибуты, извлеченные по возможности из многокомпонентных данных, увязывают между собой геологию и горно-механические свойства для данного сланцевого сценария. В результате нефтегазовые предприятия получают важную информацию, необходимую для принятия верных решения при бурении и заканчивании скважин. Узнайте больше на iongeo.ru/ResSCAN.

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Нетрадиционные резервуары
 - Регионы с суровыми климатическими условиями
 - Разрезы со сложным геологическим строением
 - Изучение осадочных бассейнов
 - Разработка резервуаров

В целом только за 2011 год из баженовской свиты «Сургутнефтегаз» получил 512 тыс. тонн нефти, «Роснефть» 82,4 тыс. тонн, «РИТЭК» за 2010 год добыл 117 тыс. тонн нефти [4, 28, 29].

Объем нерешенных проблем в соотношении с гигантскими ресурсами легкой нефти притягивали и продолжают притягивать к проблематике баженовской свиты геологов самого разного масштаба от молодых специалистов до академиков АН СССР и РАН. В разные периоды своей научной карьеры этой проблемой занимались и продолжают заниматься самые именитые геологи-нефтяники СССР и России: акад. РАН А.Э. Конторович, член-корр. РАН И.И. Нестеров, акад. АН СССР и РАН А. А. Трофимук и многие др. Со времен первых фонтанов до сегодняшних дней открыто 92 месторождения легкой нефти в отложениях баженовской свиты [2], опробованы различные способы стимуляции притоков, в том числе и зарекомендовавший себя на сланцевых месторождениях Северной Америки многоступенчатый ГРП в горизонтальных скважинах, но статистика добычи говорит сама за себя. При таких огромных ресурсах накопленная за всю историю разработки добыча нефти из баженовской свиты немногим превышает 5 млн. тонн [4, 28, 29, 12].

Оглядываясь на имеющий опыт, можно заключить, что за 45 лет реализована огромная работа по изучению баженовской свиты. Очевидно, что ни одной из современных нефтяных компаний не под силу воплотить программу исследований, сопоставимую по масштабам с уже реализованной. Поэтому надо четко понимать, что позитивных сдвигов в вопросах геологического изучения баженовской свиты можно достичь только будучи вооруженным предыдущим опытом, выявив его «слабые» и недостаточно проработанные места. Главным недостатком предыдущего опыта является отсутствие должной полноты фактических данных. Только 100% вынос керна из продуктивных скважин вместе с широким комплексом геофизических, промысловых, геолого-технологических и лабораторных исследований позволяют однозначно определить, за счет каких характеристик некоторые интервалы обеспечивают приток нефти в скважину и где сконцентрированы наибольшие ресурсы нефти. Только из достаточно полной совокупности исследований можно выделить наиболее эффективный комплекс, который позволит охарактеризовать свойства баженовской свиты. До сих пор подобная работа была выполнена только на двух скважинах СПД, пробуренных на Верхне-Салымском месторождении. Но сами по себе геологические знания, не могут гарантировать успех

companies will form alliances with foreign companies that possess the latest shale production technologies.

In conclusion, the main weaknesses that currently exist in terms of developing the Bazhenov are incomplete geological data and limited study, which only focussed on remote methods of searching highly producing zones, and the question of oil production techniques in low-permeability zones have not been sufficiently studied. Bearing this in mind, the most valuable experience can be gained from the studying the development of the Bakken Formation in the United States.

Breaking the Bakken Code

The date of birth of the unconventional industry in North America can be traced back to 1821 when, near Fredonia in the state of New York, local gunsmith William Hart drilled the first gas producing well from the Upper Devonian deposit of Dunkirk shale formation. This well had a depth of 70 feet (21.3 m) and a diameter of 1.5 inches [30]. In 1859, Edwin Drake drilled his first well and proved that oil can be produced in large quantities, so interest in shale gas was lost until the 1970's.

Unconventional oil production in the United States started much later however, after Amerada Petroleum drilled its first producing well at Bakken in 1953. The formation was named after Henry Bakken, who owned the land in North Dakota where these deposits were first found. In the same year, geologist J.W. Nordqvist formally described the Bakken Formation as a source rock rich in hydrocarbons, which saturated the surrounding reservoirs due to migration of oil [31].

Commercial experience of the Bakken was started by the Standard oil and gas company in 1953, with well #1 at Woodrow Starr. Full development of the field started in 1955 and lasted until 1960. The main pay zones were the Sanish and Bakken formations (the upper part of the underlying Three Forks deposits). In all, 44 vertical wells were drilled in the Bakken Formation with an average production rate of 200 barrels (31.8 m³) per day; the accumulated production for its commercial lifetime totalled 11 million barrels (1.7 million m³) of oil and 20 billion cubic feet (0.57 billion m³) of gas [32]. The field was developed using a 40-acre (~ 16.2 Ha) well coverage. This fairly high productivity was due to the natural fractures caused by the steeply ascending subsurface structures [33]. Further development of the Bakken however was deemed unprofitable.

The 1970's witnessed a decline in natural gas production from conventional fields, and the U.S. Government stimulated research projects in order to develop technologies to increase production. This led to technological advances in directional and horizontal drilling, seismic imaging, as well as in the technologies of massive hydraulic fracturing (HF). From 1980-2000,

всего проекта без должной организации технологий разработки.

Уникальность баженовской свиты, как сланцевой формации заключается не только в её размерах (более 1 млн. км²), но в её естественных фонтанах, которые выделяют её из других сланцевых формаций мира. Ни одна из этих формаций не характеризуется столь мощными естественными притоками. Фонтанирующие дебиты баженовской свиты могут достигать сотни кубометров нефти в сутки, при этом, в более чем в трети скважинах дебиты не были получены вообще. Наибольший дебит, приведенный в официальной статистике, составляет 1248 м³/сут., и был достигнут в скважине 141-Р Салымского месторождения [15]. Наличие скважин с большим диапазоном дебитов (от «сухих» до сотен м³/сут.) определило стратегию изучения совершенно иначе, чем для других сланцевых формаций мира. Если во всем мире сланцевые формации изучались с позиций разработки технологий стимуляции притоков, то отечественные ученые почти все усилия сосредоточили на разработке технологий прогноза высокопродуктивных зон. В этом коренное отличие отечественных и западных подходов. Отечественный и западный опыты различны по своему содержанию. Поэтому одно из направлений, которое по сей день является недостаточно

in order to test the effectiveness of new technologies, the U.S. Federal Government introduced tax benefits for 29 unconventional fields that triggered a new wave of interest in the shale gas industry [34].

Indeed, the first horizontal well in the Bakken Formation was drilled in 1987 by Meridian Oil, Inc. This well, #33-11 MOI, was initially drilled vertically, cored, logged and tested. The tests showed that it was a low producing well. Meridien then decided to drill a horizontal wellbore with a length of 2,603 feet (793.4 m) drilled in the upper part of the formation with a thickness of 8 feet (2.4 m). The well was completed on September 25, 1987 with flow rates of 258 barrels (41 m³) of oil and 299K cubic feet (8.5 km³) of gas per day. In all, during the period of its operation, this well produced 357,671 barrels (56.9 km³) of oil and 6381 barrels of water (1.01 km³). [31]

Due the a fall in oil prices in the 1990s, most companies abandoned their shale oil and gas experiments. Dick Finlay, affectionately known as the “Father of Bakken” did not give up however and is widely credited with “Breaking the Bakken Code” in 1996. His discoveries led to the development of the giant Elm Coulee Field in eastern Montana, now known as the “Sleeping Giant”. Findlay’s discovery was so significant that in 2006, after 10 years after the discovery, he was awarded the title of the Explorer of the Year [31]!



You need an experienced logistics partner for your challenging projects?

Kuehne + Nagel's Oil & Gas capabilities can help you leverage logistics resources to improve customer fulfillment and capitalize on new market opportunities.

- Key-account management with dedicated customer-service department
- Oil & Gas supply chain management
- Rig support
- Supply-base logistics & base-to-base support
- Specialized rig-move task force

Your Energy Center in Russia:

Kuehne + Nagel head office:
info.moscow@kuehne-nagel.com

Tel: +7 495 795 20 00
www.kuehne-nagel.ru

Kuehne + Nagel Sakhalin:
sakhalin@kuehne-nagel.com

Tel: +7 4242 46 49 70
Fax: +7 4242 46 49 71

проработанным, — это технологические аспекты стимуляции притоков и оптимальных конструкций скважин для разработки баженовской свиты. Поэтому российские добывающие компании идут на создание альянсов с западными компаниями, имеющими технологии разработки сланцевых месторождений.

Таким образом, главными слабыми сторонами существующего опыта по баженовской свите являются отсутствие должной полноты фактических данных и узконаправленность основной стратегии изучения, которая была нацелена только на

Findlay's discovery lay in the fact that a few miles from Sidney, Montana, in the Bakken formation, he found a layer of dolomite between two layers of shale (Fig. 1). He later discovered in other areas grained sandstone with a high content of carbonate material [36]. In both cases, these rocks had reservoir properties that were insufficient for development. It is well known that dolomite and sandstone that include voids are good for oil reservoirs. Findlay's theory was very simple: if you drill a well in dolomite and create a system of fractures in the right direction, it will become a reservoir for oil, which will saturate the surrounding shale source rocks. Findlay was hoping that unlike other methods, this

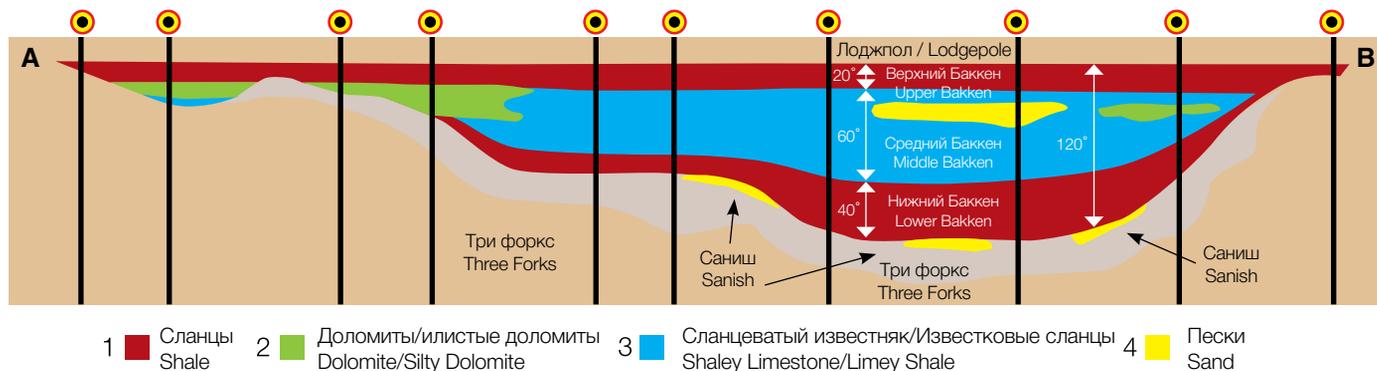


Рис. 1. Схематичное разрез формации Баккен по данным [35]: 1 – битуминозные глины; 2 – доломит, алевритистый доломит; 3 – глинистый доломит; 4 – песчаник

Fig. 1. A schematic section of the Bakken formation according to the data [35]: 1 – bituminous shales; 2 – dolomite, silty dolomite; 3 – argillaceous dolomite; 4 – sandstone

разработку дистанционных методов поиска высокопродуктивных зон, при этом вопросы технологий извлечения нефти в низкопроницаемых зонах не были достаточно проработаны. В этом смысле наиболее ценным является опыт разработки формации Баккен в США.

«Взлом кода Баккена» в США

Датой зарождения сланцевой энергетики в Северной Америке можно считать 1821 г., когда вблизи г. Фредония (штат Нью-Йорк) местным оружейником Вильямом Хартом была пробурена первая скважина для добычи газа из сланцевой формации Данкирк верхнего девона. Эта скважина имела глубину 70 футов (21,3 м) и диаметр 1,5 дюйма [30]. В 1859 году Эдвин Драйк пробурил свою первую скважину и доказал, что нефть возможно производить в больших объемах, поэтому интерес к сланцевому газу пропал вплоть до 1970-х годов.

Добыча сланцевой нефти в США стартовала намного позже, после того как компанией «Амерада Петролеум» в 1953 году на формацию Баккен была пробурена первая добывающая скважина. Эта формация получила своё название в честь

approach would make oil production from the huge Bakken formation profitable. To try this theory, Findlay needed a sponsor who had money and experience of horizontal well hydraulic fracturing. His dream came true when Halliburton decided to check out his theory. [31]

In 1998, Halliburton invested in several programs to drill the Bakken, which started in early 2000. The first well, which was named in Halliburton as the “Burning Tree State” was expected to have a vertical bore of 10,000 feet (3048 m) and a horizontal bore of 3,000 feet (914.4 m). Because of drilling problems the well was drilled to a depth of 12,000 feet (3657.6 m), but this did not prevent the hydraulic frac program and completion of the well from being fully implemented. As a result, the oil production rate exceeded all expectations [31]!

The success of Halliburton inspired other companies to actively develop the Bakken. At the same time, the U.S. Geological Survey (USGS) began a study to determine the actual reserves, and how it would affect the production of oil in the United States, which at that time was at a record low. What the USGS found surprised even them and caused a sensation in the national

землевладельца Генри Баккена, который владел землей в штате Северная Дакота, где впервые были обнаружены эти отложения. В этом же 1953 году геолог Дж.В. Нордквист формально описал Баккен как богатую углеводородами нефтематеринскую породу, которая благодаря миграции насытила нефтью окружающие коллекторы [31].

Первый промышленный опыт разработки формации Баккен получен компанией «Стандарт Ойл энд Гэс» на месторождении «Антилопа», где нефтеносность этих отложений выявлена скважиной № 1 Вудро Старр в 1953 году. Разработка стартовала в 1955 году и продолжалась вплоть до 1960-х годов. Основными продуктивными горизонтами являлись формации Баккен и Саниш (верхняя часть подстилающих отложений Три форкс). Всего на формацию Баккен было пробурено 44 вертикальных скважины со средним дебитом 200 баррелей (31,8 м³) в сутки, накопленная за время эксплуатации добыча — 11 млн. баррелей (1,7 млн. м³) нефти и 20 миллиардов кубических футов (0,57 млрд. м³) газа [32]. Месторождение разрабатывалось по 40 акровой (~16,2 га) сетке скважин. Достаточно высокая продуктивность обусловлена за счет естественной трещиноватости, обусловленной крутовосходящей структурой [33]. Но в остальном разработка формации Баккен являлась нерентабельной.

В 1970-х годах произошло снижение добычи природного газа на обычных месторождениях и правительство США стало интенсивно стимулировать исследовательские проекты по разработке технологий позволяющих нарастить добычу. Это привело к значительному прогрессу

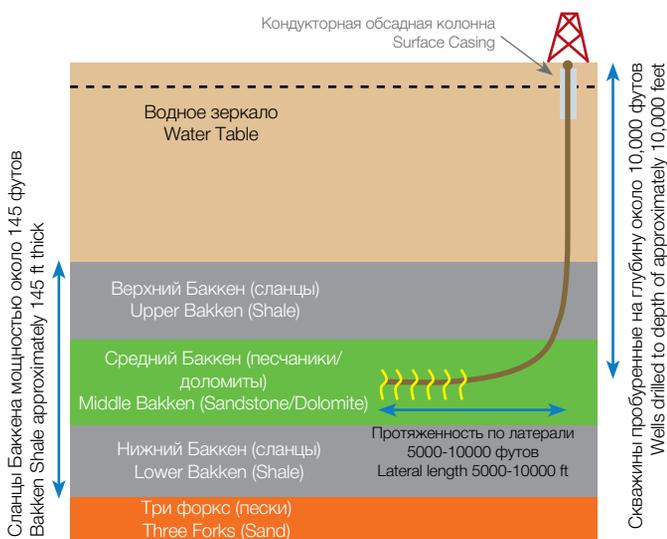


Рис. 2. Схема проводки горизонтальных скважин по данным [36]

Fig. 2. The scheme of horizontal wells according to [36]

press for many years. The U.S. Energy Information Administration (EIA) forecast indicated that that U.S. oil companies could expect to harvest a whopping 503 billion barrels of oil (80 billion m³) from the Bakken formation! [31]

The well-proven approach to developing Bakken is to penetrate the dolomite/sandstone of Middle Bakken with horizontal wells, have long horizontal wellbores (5000-10000 feet or 1524-3048 m) and then perform multistage hydraulic fracturing in consecutive sections [36] (see Fig. 2.) Basically, it turns out that the productivity of the wells was largely due to where they were drilled. The most successful wells were drilled in areas characterized by natural fracturing [33].

Today, the Bakken is one of the largest continuous hydrocarbon accumulations in the world. The reservoir is characterized by AHFP, so the wells have high initial production rates. Pressure at the Bakken exists because the conversion of organic substances far exceeded its original volume and because its inability to leave the oil source rocks it remains “locked” inside. The availability in the Bakken of low porosity layers of dolomite and sandstone susceptible to fracturing, which initially have low permeability and reservoir properties, allows operators to use hydraulic fracturing to create an extensive system of drainage channels. Abnormally high reservoir pressures, combined with the benefit of artificial well intervention of the flows, allows each drilled well to produce from 600K to 700K barrels (95.4-111.3 km³) of oil during its lifetime [31].

Oil production in North Dakota started to grow in 2008, and reached 150K barrels (23.8 km³) per day. In 2012, North Dakota had already started producing 768K barrels (122.1 km³) of oil per day from more than 3,000 operating wells. Production growth totalled 412% in just four years [31]. If this is not a boom, then what is it?!

Thus, the main lesson to be learned from the experience of the development of the Bakken shale formation in the United States can be summarized as follows. Despite its name, the “shale oil” is not produced from shale, but from layers of dolomite and sandstone, deposited within the shale formation. Initially, these rocks have low reservoir quality, but hydraulic fracturing creates an additional fractured system, which results in the interlayers of dolomites and sandstones becoming sufficiently permeable for oil recovery. The development of these beds using horizontal wells can significantly increase the extent of fluid movement.

In part 2 of this article, in the next issue of ROGTEC, we will look at the search for the “Middle Bakken” at the Bazhenov formation.

в областях направленного и горизонтального бурения, сейсморазведки, а также в технологиях массивного гидроразрыва пластов (ГРП). В 1980-2000 гг. для отработки эффективности новых технологий федеральное правительство США ввело налоговые льготы для 29 нетрадиционных месторождений, что вызвало новую волну интереса к сланцевой энергетике [34].

Первая горизонтальная скважина на формацию Баккен была пробурена 1987 году компанией «Меридиан Ойл». Скважина №33-11 MOI изначально была пробурена вертикальной, в ней был отобран керн, сделан каротаж и проведено испытание. Выполненные исследования показали, что скважина оказалась низкопродуктивной. Тогда было принято решение о бурении горизонтального ствола. Горизонтальный ствол длиной 2603 фута (793,4 м) был проведен в верхней части формации мощностью 8 футов (2,4 м). Скважина была освоена 25 сентября 1987 года с дебитами 258 баррелей нефти (41 м³) в сутки и 299 тыс. кубических футов (8,5 тыс. м³) газа. Всего за время разработки эта скважина добыла 357671 баррель нефти (56,9 тыс. м³) и 6381 баррелей воды (1,01 тыс. м³) [31].

В 1990-е в связи с падением цен на нефть большинство компаний вынуждены были отказаться от экспериментов с добычей нефти из сланцевых пород. Но нашелся геолог-энтузиаст, который не собирался сдаваться. Его имя — Дик Финдли, и он известен как «отец» Баккена. Именно ему приписывается «взлом кода Баккена» в 1996 году, который привел к развитию месторождения-гиганта Эльм Коули в восточной Монтане, сейчас известного как «Спящий гигант». Открытие Финдли было настолько значимым, что в 2006 году, спустя 10 лет с момента открытия, ему было присвоено звание «Первооткрыватель года» [31].

Открытие Финдли состояло в следующем. В нескольких милях от Сиднея (штат Монтана) в формации Баккен он обнаружил слой доломита между двумя слоями сланцев (рис.1). Позже в других районах был обнаружен тонкозернистый песчаник с высоким содержанием карбонатного материала [36]. В обоих случаях эти породы обладали недостаточными для разработки фильтрационно-емкостными свойствами. Общеизвестно, что доломит и песчаник при наличии пустот являются хорошими коллекторами для нефти. Теория Финдли была предельно проста: если в доломит пробурить скважину и создать систему трещин в правильном направлении, то он станет резервуаром для нефти, который будет питать окружающие его нефтематеринские сланцы.

Финдли надеялся, что в отличие от других методов, этот подход сделает добычу нефти из огромной формации Баккен рентабельной. Для проверки своей теории Финдли нуждался в спонсоре, у которого были деньги и опыт проведения ГРП в горизонтальных скважинах. Мечта Финдли осуществилась когда компания «Халлибертон» решился проверить его теорию [31].

В 1998 году компания «Халлибертон» инвестировала в несколько программ бурения Баккена, которые стартовали в начале 2000 года. Первая скважина,



которую в «Халлибертон» окрестили Burning Tree State, должна была иметь вертикальный ствол в 10000 футов (3048 м) и 3000 футов (914,4 м) горизонтальной ствола. Из-за проблем бурения скважина была пробурена только до глубины 1200 футов (3657,6 м), но это не помешало выполнить программу стимуляции и освоения до конца. В итоге добыча нефти превысила самые смелые мечты [31]!

Успех компании «Халлибертон», вдохновил другие компании на активную разработку Баккена. В тоже время геологическая служба США (USGS) начала исследование с целью определить, насколько

велик неожиданно открывшийся нефтяной резерв, и как он повлияет на производство нефти в США, которое в то время было на рекордно низком уровне. То, что обнаружили в USGS привело их в крайнее удивление и стало сенсацией в национальных газетах на долгие годы. После этого Управление энергетической информации США (EIA) сделала прогноз, из которого следовало, что американские нефтяные компании могут рассчитывать на урожай с Баккена в колоссальные 503 млрд. баррелей нефти (80 млрд. м³) [31]! Зарекомендовавший себя подход к разработке



Баккена состоит в том, чтобы вскрывать слой среднего Баккена горизонтальными скважинами с длиной горизонтального ствола 5000-10000 футов (1524-3048 м), а затем последовательными секциями выполнять ГРП [36] (см. [рис. 2](#)). Как оказалось, при этом продуктивность скважины во многом определяется местом её заложения. Наиболее успешные скважины были пробурены в зонах, характеризующихся естественным напряженным состоянием, обусловленным наличием локальной складчатости [33]. Сегодня Баккен считается одним из крупнейших

непрерывных скоплений углеводородов в мире. Это пластовый резервуар, который характеризуется аномально высоким пластовым давлением, поэтому скважины имеют высокие начальные дебиты. Избыточное давление в Баккене вызвано тем, что объем нефти, образовавшейся в результате преобразования органического вещества, превышает его исходный объем. Из-за невозможности покинуть нефтематеринскую толщу нефть осталась в ней «запертой». Наличие внутри Баккена прослоев низкопористых, но склонных к образованию трещин доломитов и песчаников, которые изначально обладают низкими фильтрационно-емкостными свойствами, позволяет с помощью гидроразрывов создать разветвленную систему фильтрационных каналов. Аномально высокое пластовое давление в сочетании с достижениями в области искусственной стимуляции притоков, позволяют каждой пробуренной скважине в течение своей жизни производить 600-700 тыс. баррелей (95,4-111,3 тыс. м³) нефти [31].

Добыча нефти в Северной Дакоте начала расти в 2008 году, когда достигла уровня в 150 тыс. баррелей (23,8 тыс. м³) в сутки. В 2012 году Северная Дакота уже добывала 768 тыс. баррелей (122,1 тыс. м³) в день из более чем 3000 работающих скважин. Таким образом, прирост добычи составил 412% всего за четыре года [31]. Если это не бум, тогда что это?

Таким образом, главный урок, который можно извлечь из опыта разработки сланцевой формации Баккен в США, можно сформулировать следующим образом. Несмотря на свое название, «сланцевая нефть» добывается не из сланцев, а из прослоев доломита и песчаника, находящихся внутри сланцевой формации. Изначально эти породы обладают низкими коллекторскими свойствами, но благодаря ГРП в них создается дополнительная система трещин, в результате которой прослой доломитов и песчаников приобретают достаточную для извлечения нефти проницаемость. Разработка этих включений с помощью горизонтальных стволов позволяет значительно увеличить радиус дренирования.

Во второй части статьи мы рассматриваем поиски «среднего баккена» в Баженовских породах.



Список литературы

1. Тимакова Наталья, RusEnergy. Льготный метод. // «Коммерсант», Приложение «Нефть и газ». №110 (4895), 20.06.2012. www.kommersant.ru/doc/1961946
2. Нестеров И.И. Интервью заслуженного геолога РФ И.И. Нестрова журналу «Промышленность и экология Севера». <http://promecosever.ru/jurnal/neftgazovaya-dolina/pervootkryvatel.html>
3. Сборник научных трудов «Особенности подсчета запасов нефти в баженовских отложениях Западной Сибири». Тюмень, СибНИИНП, 1985
4. Полоус Мария. Режим влечения. // «Коммерсант», Приложение «Нефть и газ». №220 (5005), 21.11.2012. <http://www.kommersant.ru/doc/2064484>
5. По материалам официального сайта компании «Газпром нефть» www.gazprom-neft.ru, «Газпром нефть» завершила испытание скважины для исследования запасов сланцевой нефти Краснolenинского месторождения
6. По материалам официального сайта компании «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» www.salympetroleum.ru
7. Интервью руководителя отдела бурения СПД Питера ван Велсенеса журналу «ROGTEC», №33, 2013
8. Алексеев А.Д. Природные резервуары нефти в отложениях баженовской свиты на западе Широкого Приобья. // Диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, 2009
9. Именные месторождения. Аркадий Тянь. Редактор-составитель Л.В. Цареградская. Сургут, ГУП ХМАО «Сургутская типография», 2004, 70 с., 46 илл.
10. Нестеров И.И. Баженовская свита – губка с нефтью. // «Наука и жизнь» №7, 1981
11. Юдин Альберт. Мужество, мысли, смелость и действия. // «Юность» №7, 1979
12. Степанов В.П. и др. Основные итоги и перспективы разработки баженовской свиты Салымского месторождения. // «Геофизика», №4, 2007
13. Сборник научных трудов Строение и нефтегазоносность баженинов Западной Сибири. Под.ред. член-кор. АН СССР И.И. Нестерова. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1985
14. Проблемы нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири. // Сборник научных трудов. Москва, ИГиРГИ, 1986
15. Предварительный подсчет запасов нефти и растворенного газа баженовской залежи (горизонт Ю₀) участка м-я Большой Салым Нефтеюганского района Тюменской области по состоянию на 01.01.1985г. Отв. исполнитель. Нестеров И.И. // Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1985
16. Подсчет запасов нефти и растворенного газа в

Reference Literature

1. Natalia Timakova, RusEnergy. Preferential method. // «Kommersant», «Oil and Gas» supplement #110 (4895), 20.06.2012. www.kommersant.ru/doc/1961946
2. Interview of the Honored Geologist of Russia Ivan Nesterov. // «Industry and Ecology of the North» Magazine. <http://promecosever.ru/jurnal/neftgazovaya-dolina/pervootkryvatel.html>
3. The collection of scientific papers «Specificity of calculation of oil reserves in Bazhenovo deposits of Western Siberia» // Tyumen SibNIINP. 1985
4. Maria Polous, Sediment Mode. // «Kommersant», «Oil and Gas» supplement. #220 (5005), 21.11.2012. www.kommersant.ru/doc/2064484
5. Data from the official site of the company «GazpromNeft» www.gazprom-neft.ru. «Gazprom Neft» completed the testing of wells for studying shale oil deposits on Krasnoleninskoye Field,.
6. Data from the SPD official site of www.salympetroleum.ru
7. ROGTEC Interview: Peter van Welsenens, SPD Well Delivery Manager // ROGTEC Magazine, № 33, 2013
8. A.D. Alekseev. Natural oil reservoirs in the Bazhenov Formation deposits in the west of Ob River Region // Theses for the degree of a candidate of geological-mineralogical sciences. Moscow, 2009
9. Edited and compiled by L. Tsaregradskaya. Registered fields. Arkady Tyan // Surgut, Khanty-Mansi SUE «Surgut Typography», in 2004 - 70 pages and 46 pictures
10. I.I. Nesterov, Bazhenov Formation. Oil-Sponge. // «Science and Life» № 7, 1981
11. Albert Yudin. Courage, thoughts, boldness, and action. // «Youth» magazine № 7, 1979
12. V.P. Stepanov and others. The main results and prospects of the development of the Bazhenov Formation, Salym. // «Geophysics» № 4, April 2007
13. Edited by the Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences I.I. Nesterov, Collected papers, The structure and oil and gas bearing capacities of bazhenites, Western Siberia // Tyumen ZapSibNIGNI, 1985
14. Problems of oil-bearing capacities of the Bazhenov Formation in Western Siberia. // Collected papers. Moscow, IGI RGI, 1986
15. I.I. Nesterov. Preliminary estimation of the reserves of oil and dissolved gas deposits of the Bazhenov Formation (horizon Yu₀) in the Big Salym area of Nefteyugansky District of the Tyumen region, as of 01.01.1985. // Tyumen, ZapSibNIGNI, 1985
16. E.M. Khalimov. The evaluation of oil and dissolved gas reserves in the Bazhenov Formation of the Salym Field (as of 01.01.1985). // VNIIneft-SibNIINP, Moscow, Tyumen, 1986
17. A.Ya.Khavkin. Design and development of oil deposits of the Bazhenov Formation. // VNIIn.a. Acad.

Вам нужна первоклассная **ТЕХПОДДЕРЖКА ДЛЯ ВЕРХНИХ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ?**

Вы можете положиться в этом вопросе на самого квалифицированного производителя верхних силовых приводов в мире, который также предоставляет непревзойденный уровень сервиса и технической поддержки в любое время и в любом месте!

Отдел продаж и технической поддержки в Москве

- Опытная команда специалистов по продажам бурового оборудования предложит наилучшие решения в соответствии с вашими потребностями.
- В эту локальную команду входят 30 высококвалифицированных инженеров технической поддержки

Обширные складские запасы запчастей

- К вашим услугам наш новый склад в Московской области
- Курьерская доставка по России

Локальное обслуживание и практический опыт

- Обслуживание верхних силовых приводов и возможность капитального ремонта в Тюменском регионе
- Более 100 верхних силовых приводов, работающих на буровых установках в России

Павелецкая площадь, 2/2, 21-ый этаж
Москва, Россия, 115054
Телефон: +7 (495) 775-2540

NOV NATIONAL OILWELL VARCO

баженовской свите Салымского месторождения (по состоянию на 01.01.1985г.). Отв. исп. Халимов Э.М. // ВНИИнефть-СибНИИИП, Москва-Тюмень, 1986

17. Хавкин А.Я. Проектирование и разработки залежи нефти баженовской свиты Салымского месторождения. Изд. ВНИИ им. акад. А.П. Крылова, 1992

18. Кузьмин Ю.А., Судат Н.В. (ГП «НАЦ РН им.В.И. Шпильмана»). Особенности геологического строения, оценки и учета в госбалансе запасов углеводородов в отложениях баженовской свиты месторождений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. // Вестник недропользователя ХМАО. № 24, 2011

19. Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Новосибирск, 2003; объяснительная записка – Новосибирск, 2004

20. Славкин В.С., Алексеев А.Д., Колосков В.Н. Некоторые аспекты геологического строения и перспектив нефтеносности баженовской свиты на западе Широкого Приобья. // Нефтяное хозяйство №8, 2007, с. 100-105

21. Зубков М.Ю., Скрылев С.А., Бондаренко П.М. и др. Методы оценки перспектив нефтегазоносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири. // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 1999, с. 206-222

22. Зубков М.Ю., Пормейстер Я.А., Бондаренко П.М. Прогноз трещинных коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит на основе результатов тектонофизического моделирования. // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Т.1 (Пятая научно-практическая конференция). Ханты-Мансийск, 2002, с. 244-253

23. Алексеев А.Д. Природные резервуары нефти в отложениях баженовской свиты на западе Широкого Приобья. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, Москва, 2009

24. Алексеев А.Д., Немова В.Д., Колосков В.Н., Гаврилов С.С. Литологические особенности пород отложений нижнетутлеймской подсвиты Фроловской НГО в связи с особенностями её нефтеносности. // Геология нефти и газа, № 2, 2009

25. Немова В.Д., Колосков В.Н., Гаврилов С.С., Покровский Б.Г. Стадийность и направленность вторичных преобразований пород-коллекторов нижнетутлеймской подсвиты на западе Широкого Приобья. // Геология нефти и газа, №6, 2010, с. 22-28

26. Немова В.Д., Колосков В.Н., Покровский Б.Г.. Процессы формирования карбонатизированных

А.П. Krylov, 1992

18. Y.A. Kuzmin, N.V. Sudat (SE «Shpilman Centre»), Specific features of geological structure, assessment and management in the state balance of hydrocarbons in deposits of the Bazhenov Formation of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Ugra. // Bulletin of the subsoil user of KhMAO, #24/2011

19. The decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Conference to consider and approve revised Mesozoic stratigraphic maps of Western Siberia. // Novosibirsk, 2003, Explanatory memorandum, Novosibirsk, 2004

20. V.S. Slavkin, A.D. Alekseev, V.N. Koloskov. Some aspects of the geological structure and prospects of the oil-bearing capacities of the Bazhenov Formation in the west of the Ob River Region. // Oil Industry, #8/2007, pp. 100-105

21. M.Yu. Zubkov, S.A. Skrylev, P.M. Bondarenko and others. Methods of evaluation of the prospects and oil and gas bearing capacities of Bazhenov and Abalak Formations of Western Siberia. // Ways of development the oil and gas potential of KhMAO. Khanty-Mansiysk: 1999, pp. 206-222

22. M. Zubkov, I.A. Pormeyster, P.M. Bondarenko. The forecast of fractured reservoirs in deposits of Bazhenov and Abalak Formations based on the results of tectonic-physical modelling. // Ways of development the oil and gas potential of KhMAO. V.1 (The Fifth Scientific Conference). Khanty-Mansiysk, 2002, pp. 244-253

23. A.D. Alekseev. Natural reservoirs of oil in the sediments of the Bazhenov Formation in the west of the Ob River Region. // Thesis for the degree of a candidate of geological-mineralogical sciences. Moscow, 2009.

24. A.D. Alexeyev, V.D. Nemova, V.N. Koloskov, S.S. Gavrillov. Lithological features of the Nizhnetutleymskaya Sub-Formation deposits of the Frolovskaya Oil and Gas Bearing Region because of its specific features. // Oil and Gas Geology, #2/2009

25. V.D. Nemova, V.N.Koloskov, S.S.Gavrillov, B.G.Pokrovsky. Staging and direction of the secondary transformation of reservoir rocks of the Nizhnetutleymskaya Formation of the Ob River Region. // Oil and Gas Geology, 6, 2010, pp. 22-28

26. V.D. Nemova, V.N.Koloskov, B.G.Pokrovsky. Processes of formation of carbonated reservoirs in the clay-siliceous deposits of the Bazhenov horizon in the west of the Ob River Region. // Exploration and conservation of mineral resources, 12, 2011, pp. 31-35

27. V.D. Nemova. Lithology and reservoir properties of deposits of the the Bazhenov horizon in the Ob River Region // Thesis for the degree of a candidate of geological-mineralogical sciences. Moscow, 2012

28. From the official site of JSC «Russian Innovation Fuel and Energy Company» («RITEK») www.ritek.ru/

29. The leader in the production of oil from the Bazhenov Formation is «Surgutneftegaz» // All news for 11.02.2013. www.rusenergy.com./ru/

коллекторов в глинисто-кремнистых отложениях баженовского горизонта на западе Широкого Приобья. // Разведка и охрана недр, №12, 2011, с. 31-35

27. Немова В.Д. Литология и коллекторские свойства отложений баженовского горизонта на западе Широкого Приобья. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, 2012.

28. По материалам официального сайта компании ОАО «Российская инновационная топливно-энергетическая компания» («РИТЭК»). www.ritek.ru/

29. Лидером по добыче нефти из баженовской свиты остается «Сургутнефтегаз». // Новостная лента за 11.02.2013. <http://rusenergy.com/ru/>

30. По материалам сайта [www.dec.ny.gov/Capturing the Benefits from New York's Natural Oil and Gas Resource Endowment](http://www.dec.ny.gov/Capturing%20the%20Benefits%20from%20New%20York%27s%20Natural%20Oil%20and%20Gas%20Resource%20Endowment.pdf). http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/nyserda2.pdf

31. Bakken Oil Formation. По материалам сайта www.energyandcapital.com/resources/bakken-oil-field

32. Bakken Oil revolution. По материалам сайта www.norstraenergy.com/investors/presentations/THE-BAKKEN-OIL-REVOLUTION.pdf

33. Sturm Stephen D., Ernest Gomez. Role of Natural Fracturing in Production from the Bakken Formation, Williston Basin, North Dakota. // Search and Discovery Article #50199

34. По материалам сайта http://en.wikipedia.org/wiki/Shale_gas

35. Olesen Neil L. Bakken oil resource play Williston basin (US). Overview and historical perspective. // По материалам сайта www.ogs.ou.edu/MEETINGS/Presentations/Shales2010/Olesen.pdf

36. LeFever Julie A. Overview of Bakken Stratigraphy and "Mini Mini-Core Core" Workshop. // North Dakota Geological Survey

37. The Bakken Boom An Introduction to North Dakota's Shale Oil, August 3, 2011 Energy Policy Research Foundation Inc. // По материалам сайта <http://eprinc.org/2011/08/the-bakken-boom/>

38. Жук Елена. Бажено-абалакский горизонт. // Oil&Gas Eurasia, №6, 2013. www.oilandgaseurasia.com/digital/2013-06.html

39. Дахнова М.В., Славкин В.С., Колосков В.Н., Назарова Е.С., Алексеев А.Д. Геохимические методы в решении задач, связанных с освоением залежей нефти в баженовской свите на западе Широкого Приобья. // Геология нефти и газа, № 6, 2007

40. Немова В.Д. Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012, т.7, №2

41. Немова В.Д. Строение отложений баженовской свиты: закономерности и изменчивость. // Oil&Gas Eurasia

30. From this site [www.dec.ny.gov/Capturing the Benefits from New York's Natural Oil and Gas Resource Endowment](http://www.dec.ny.gov/Capturing%20the%20Benefits%20from%20New%20York%27s%20Natural%20Oil%20and%20Gas%20Resource%20Endowment.pdf). // www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/nyserda2.pdf

31. Bakken Oil Formation. // По материалам сайта www.energyandcapital.com/resources/bakken-oil-field

32. Bakken Oil revolution. //По материалам сайта www.norstraenergy.com/investors/presentations/THE-BAKKEN-OIL-REVOLUTION.pdf

33. Stephen D. Sturm, Ernest Gomez. Role of Natural Fracturing in Production from the Bakken Formation, Williston Basin, North Dakota. // Search and Discovery Article #50199

34. From this site http://en.wikipedia.org/wiki/Shale_gas

35. Neil L. Olesen. Bakken oil resource play Williston basin (US). Overview and historical perspective. //По материалам сайта www.ogs.ou.edu/MEETINGS/Presentations/Shales2010/Olesen.pdf

36. Julie A. LeFever Overview of Bakken Stratigraphy and "Mini Mini-Core Core" Workshop. // North Dakota Geological Survey

37. The Bakken Boom An Introduction to North Dakota's Shale Oil, August 3, 2011 Energy Policy Research Foundation Inc. // From this site <http://eprinc.org/2011/08/the-bakken-boom/>

38. Yelena Zhuk, The Bazhen-Abalak Horizon. // Oil&gas Eurasia, №6 2013. www.oilandgaseurasia.com/digital/2013-06.html

39. M.V. Dakhnova, V.S. Slavkin, V.N.Koloskov, E.S. Nazarova, A.D. Alekseev. Geochemical methods in solving problems associated with the development of oil deposits in the Bazhenov Formation in the west of Ob River Region. // Oil and Gas Geology, #6/2007

40. V.D. Nemova. Reservoir formation conditions in Bazhenov horizon deposits in the area of intersection of the Krasnoleninski uplift and Frolovskaya megadepression. // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2012, v.7, № 2

41. V.D. Nemova. The structure of deposits of the Bazhenov Formation: logic and variability // Oil & gas Eurasia

42. I.S. Afanasiev, E.V. Gavrilova, E.M. Birun (JSC «NK» Rosneft «), G.A. Kalmykov, N.S. Balushkina (Moscow Lomonosov State University). The Bazhenov Formation. General overview and unresolved problems. // «Science and Technology Bulletin of OJSC» NK «Rosneft», December 2010

42. Афанасьев И.С., Гаврилова Е.В., Бирун Е.М. (ОАО «НК «Роснефть»), Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. (МГУ им. М.В. Ломоносова). Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы. // «Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть», декабрь 2010