

УДК 553.983

DOI 10.31087/0016-7894-2022-2-95-104

Динамика освоения трудноизвлекаемых запасов баженовско-абалакского нефтегазоносного комплекса на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

© 2022 г. | Е.Е. Оксенойд, В.Г. Поповская, Т.Н. Печерин, П.С. Демичев

АУ «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана», Тюмень, Россия; oksenoyd@crru.ru; popovskaya@crru.ru; timofey_crn@mail.ru; brviperm@rambler.ru

Поступила 16.12.2021 г.

Доработана 14.01.2022 г.

Принята к печати 17.01.2022 г.

Ключевые слова: баженовская свита; трудноизвлекаемые запасы; залежи нефти; поисково-разведочная скважина; дебит нефти; испытания; гидроразрыв пласта.

Аннотация: В современных условиях энергетического перехода задача освоения трудноизвлекаемых запасов по-прежнему остается актуальной для поддержания стабильного уровня добычи нефти. Баженовско-абалакский нефтегазоносный комплекс на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры содержит 3 млрд т извлекаемых ресурсов нефти, при этом, согласно Государственному балансу запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2021 г., извлекаемые запасы оценены в 489 млн т, а годовая добыча из этих отложений в 2020 г. составила 1,043 млн т нефти. В 2010–2020 гг. баженовские отложения вскрыты 849 поисково-разведочными скважинами, в 290 — проведены испытания, в 137 — получены притоки нефти. Средние дебиты нефти без применения гидроразрыва пласта составляют 3–4 м³/сут. Дольше всех занимается освоением баженовской свиты ПАО «Сургутнефтегаз». Инновационные методы для разработки трудноизвлекаемых запасов применяют компании «РИТЭК» и «Газпромнефть». В большинстве проектов разработки предусматривается гидроразрыв пласта и бурение скважин сложного профиля. Согласно Федеральному проекту «Технологии освоения трудноизвлекаемых углеводородов», к 2035 г. из баженовской свиты будет добываться не менее 40 млн т нефти в год.

Для цитирования: Оксенойд Е.Е., Поповская В.Г., Печерин Т.Н., Демичев П.С. Динамика освоения трудноизвлекаемых запасов баженовско-абалакского нефтегазоносного комплекса на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Геология нефти и газа. – 2022. – № 2. – С. 95–104. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-2-95-104.

Dynamics of hard-to-recover reserves development: Bazhenov-Abalak Play in Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra

© 2022 | E.E. Oksenoyd, V.G. Popovskaya, T.N. Pecherin, P.S. Demichev

Autonomous Institution “V.I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil”, Tyumen, Russia; oksenoyd@crru.ru; popovskaya@crru.ru; timofey_crn@mail.ru; brviperm@rambler.ru

Received 16.12.2021

Revised 14.01.2022

Accepted for publication 17.01.2022

Key words: Bazhenov Formation; hard-to-recover reserves; oil pools; exploration well; oil production rate; well testing; hydraulic fracturing.

Abstract: In the current Global Energy Transition, the objective of hard-to-recover reserves development still remains a priority for maintaining stable oil production level. In the territory of Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, the Bazhenov-Abalak Play contains 3 bln tons of recoverable oil resources. At the same time, according to the RF State Register of Reserves as on 01.01.2021, the recoverable reserves are estimated at 489 mln tons, and in 2020 annual oil production from these deposits made 1.043 mln tons. In 2010–2020, 849 exploratory wells drilled the Bazhenov deposits; testing was conducted in 290 of them, and oil inflows were obtained in 137 wells. Average oil flowrates without hydraulic fracturing are 3–4 m³/day. PJSC Surgutneftegas has been developing the Bazhenov Formation for the longest time. RITEK and Gazpromneft Company apply innovative methodologies of development of hard-to-recover reserves. Hydraulic fracturing and drilling designer wells are included in most of the field development plans. In accordance with the Federal Project “Technologies of hard-to-recover hydrocarbon development”, at least 40 mln tons of oil will be produced from the Bazhenov Formation by 2035.

For citation: Oksenoyd E.E., Popovskaya V.G., Pecherin T.N., Demichev P.S. Dynamics of difficult-to-recover reserves development: Bazhenov-Abalak Play in Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. *Geologiya nefi i gaza*. 2022;(2):95–104. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-2-95-104. In Russ.

Введение

Россия является ведущим производителем УВ в мире. Сохранение этой позиции — важное условие для развития экономики страны.

Различные сценарии развития глобально-энергопотребления предусматривают как рост мирового потребления нефти и его сохранение до 2050 г. на уровне более 100 млн бар/сут (в 2020 г. — 87 млн бар/сут), так и ежегодное сокращение спроса с 2030 по 2050 г. на 1–2,4 млн бар/сут [1].

Согласно обзору «Основные тенденции развития мирового рынка жидких углеводородов до 2035 года» [2], при существующей климатической политике спрос на жидкие УВ будет расти до 2035 г. Россия потенциально может добывать более 600 млн т нефти в год преимущественно за счет увеличения коэффициента извлечения нефти и разработки трудноизвлекаемых запасов. В этом же обзоре представлен прогноз добычи нефти из баженовской свиты: в 2035 г. может добываться от 9 млн т (сценарий «Климат») до 78 млн т (сценарий «Равные возможности»). Рассмотрим основания этих прогнозов.

Баженовско-абалакский нефтегазоносный комплекс

Баженовско-абалакский нефтегазоносный комплекс (НГК) занимает особое место в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне (НГБ). Баженовская свита и ее стратиграфические аналоги слагают основную нефтематеринскую толщу нефтегазоносной провинции. Отложения являются резервуаром для УВ, которые еще не эмигрировали из них, служат флюидоупором для подстилающих отложений и входят в региональную верхнеюрско-нижнемеловую покрывку.

Баженовско-абалакский НГК включает в себя залежи в баженовской и подстилающей ее на западе Западной Сибири абалакской свитах. Часть залежей открыта в нижнетутлеймской подсвите — стратиграфическом аналоге баженовской свиты, распространенном на западе центральной части Западно-Сибирского НГБ. Залежи, открытые в зонах аномального строения баженовской свиты (рис. 1), не включаются в баженовско-абалакский НГК, а относятся к ачимовской части осложненного неокомского нефтегазоносного подкомплекса.

Основным нефтесодержащим объектом абалакской свиты является выделяемый в ее кровле пласт Ю₁ толщиной до 1–2 м, представленный трещиноватым, кавернозным известняком. В баженовской свите потенциально перспективными являются прослойки кремнистых, карбонатизированных пород. Согласно «Методическим рекомендациям по подсчету запасов нефти в отложениях баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции», при подсчете запасов рекомендуется выделять коллекторы I и II типов [3], различающиеся способностью отдавать вмещае-

мые пластовые флюиды без или после применения технологий интенсификации притоков.

Наиболее крупными по запасам являются Красноленинское, Салымское, Правдинское, Приразломное, Северо-Салымское, Галяновское и Приобское месторождения. Остальные залежи преимущественно мелкие, в большинстве случаев запасы оценены в радиусе 2 км вокруг скважины, давшей промышленный приток нефти.

Согласно последней количественной оценке запасов и ресурсов нефти и газа Российской Федерации (на 01.01.2017 г.), начальные суммарные ресурсы баженовской свиты составляют 17,5 млрд т (геологические), 4,6 млрд т (извлекаемые). Выполненная НАЦ РН им. В.И. Шпильмана оценка ресурсов УВ баженовско-абалакского НГК на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры составила 10,6 млрд т геологических и 3 млрд т извлекаемых ресурсов нефти. На 01.01.2021 г. на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 67 месторождения открыто более 150 залежей в баженовско-абалакском НГК с начальными запасами нефти около 3,1 млрд т геологических и 489 млн т извлекаемых.

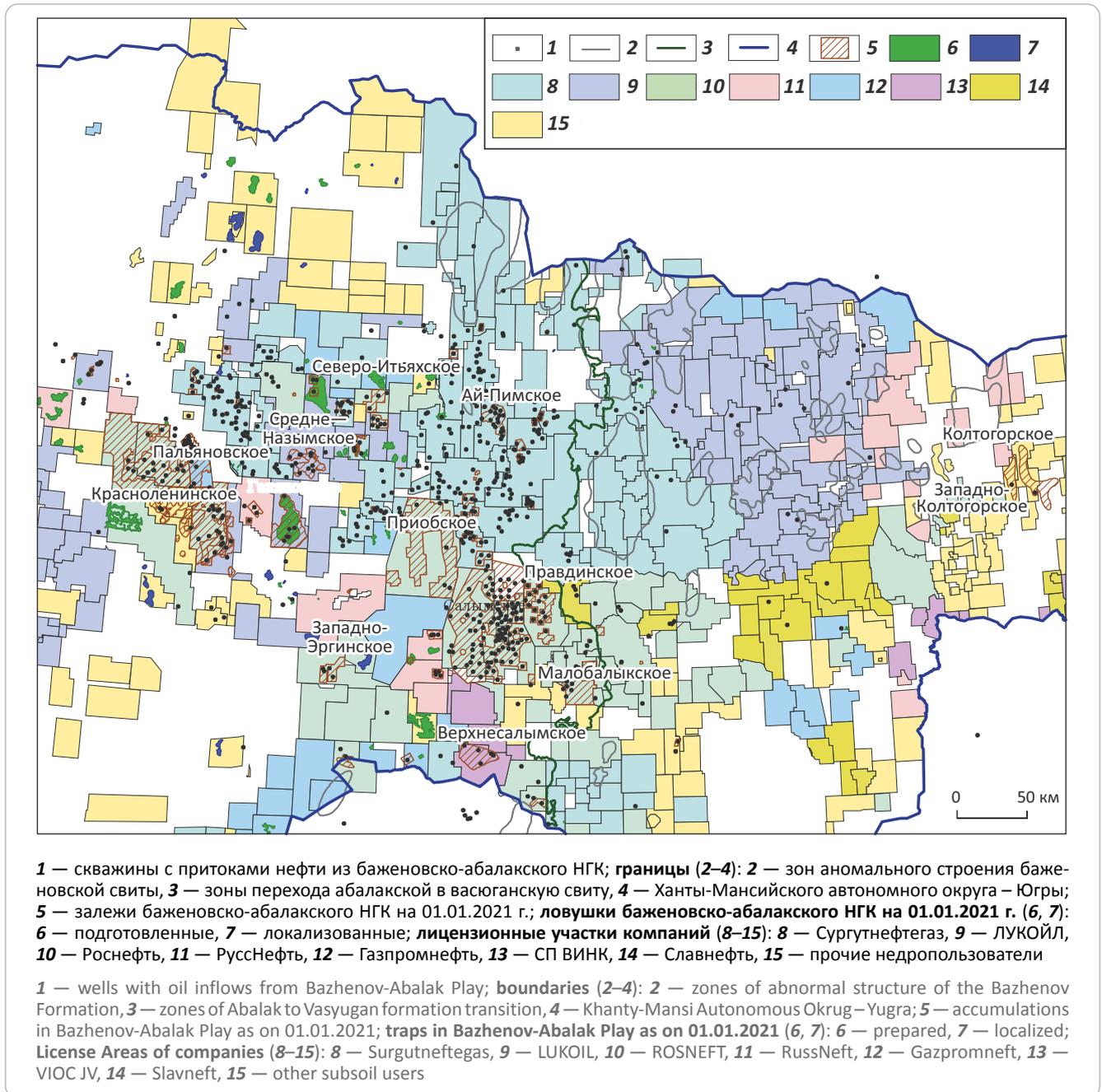
По состоянию на 01.01.2021 г. в отложениях баженовско-абалакского НГК на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры прогнозируется 105 ловушек с суммарными геологическими/извлекаемыми ресурсами нефти (категорий D₀ и D_n) соответственно 694,4/160,1 млн т (в том числе подготовленных (категория D₀) — 84 с ресурсами 609,3/138,9 млн т). Из 105 ловушек 96 относятся к мелким локальным объектам (извлекаемые ресурсы не превышают 3 млн т), 6 ловушек — к классу с ресурсами от 3 до 10 млн т, 3 ловушки — с запасами более 10 млн т.

Геолого-разведочные работы на баженовскую свиту в 2010–2020 гг.

По данным НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, в пределах зоны развития баженовско-абалакского НГК, баженовский горизонт вскрыт более чем в 6 тыс. поисково-разведочных скважинах. Поскольку свита рассматривалась в первую очередь как нефтематеринская, а не как резервуар для УВ, на сегодняшний день она испытана примерно в каждой четвертой скважине, вскрывшей баженовско-абалакский комплекс (более чем в 1300 поисково-разведочных скважинах). В 2010–2020 гг. баженовские отложения вскрыты 849 поисково-разведочных скважинами, в каждой третьей (290) проведены испытания. Из половины испытанных объектов (137) получены притоки нефти.

Дебиты нефти при испытании пластов баженовско-абалакского комплекса (в 137 объектах) в половине случаев не превышают 1 м³/сут, четверть полученных притоков попадает в диапазон от 1 до 5 м³/сут, 11 % — от 5 до 10 м³/сут. В 6 скважинах при-

Рис. 1. Схема нефтеносности баженовско-абалакского НГК
Fig. 1. Scheme of oil occurrence in Bazhenov-Abalak Play



токи превышают 15 м³/сут, в 8 – 20 м³/сут. Притоки выше 10 м³/сут получены преимущественно компаниями «Сургутнефтегаз» и «Роснефть».

Из вертикально интегрированных нефтяных компаний наиболее активно освоением баженовской свиты занимается компания «Сургутнефтегаз». На балансе компании числится 51 залежь в баженовско-абалакском комплексе на 29 месторождениях.

В 2008 г. компания провела ранжирование территории своих лицензионных участков по перспективам нефтеносности баженовской свиты. Была принята программа по освоению ресурсов

баженовской свиты, рассчитанная на 2014–2018 гг. и предусматривающая [4]: проведение сейсморазведки 2D и 3D; бурение 79 поисково-разведочных скважин на баженовскую свиту и углубление 26 эксплуатационных; увеличение фонда эксплуатационных скважин со 100 до 233 и др. Ожидалось, что к 01.01.2019 г. накопленная добыча из баженовской свиты превысит 5 млн т.

Компания планировала испытать и отработать технологии проведения гибридного гидроразрыва пласта (ГРП) в наклонно-направленных скважинах и многосекционного ГРП (МСГРП) в горизонтальных скважинах с проведением микросейсмических исследований, разработать технологии бурения

скважин в условиях аномально высокого пластового давления и обрушения стенок ствола скважины, выполнить теоретические и лабораторные исследования по обоснованию параметров третичных методов разработки на основе применения воздуха, кислородогенерирующих составов, сверхкритических флюидов, УВ-газа и растворителей [5].

На 01.01.2021 г. компания «Сургутнефтегаз» добыла из баженовско-абалакских отложений более 4,7 млн т нефти, что немного меньше приведенного выше целевого показателя 2019 г. Максимальный уровень добычи достигнут в 2013–2014 гг. — более 500 тыс. т, затем началось снижение до 250 тыс. т в 2019 г., в 2020 г. произошло некоторое увеличение до 283 тыс. т. Динамика добычи компанией нефти из баженовской свиты определяется разработкой Ай-Пимского месторождения.

В течение 2010–2020 гг. компания добыла 3,9 млн т нефти, пробурила 362 поисково-разведочные скважины, вскрывшие баженовско-абалакский комплекс, провела испытания комплекса в 175 скважинах, успешность составила 46 % (в 79 скважинах получены притоки нефти). Средний дебит нефти составил 4 м³/сут. Непромышленные притоки нефти (дебитом менее 1 м³/сут) получены более чем в половине приточных испытаний, в трети случаев притоки нефти достигли 10 м³/сут и лишь в 13 % — более 10 м³/сут. В 5 скважинах испытания проводили с ГРП. Получены притоки нефти: промышленные — в 3 объектах и непромышленные — в 2 объектах. Средний дебит нефти после ГРП составил 14,6 м³/сут.

На компанию «Роснефть» приходится существенная часть текущих балансовых запасов нефти баженовско-абалакского НГК: треть геологических — более 1 млрд т, четверть извлекаемых — более 100 млн т и наиболее крупные месторождения: Красноленинское, Приобское, Правдинское и Салымское. На балансе компании числится 38 залежей на 13 месторождениях. На Салымском месторождении на 01.01.2021 г. добыто уже более 4 млн т нефти, текущие извлекаемые запасы превышают 8 млн т. Следует отметить, что 244 млн т текущих извлекаемых запасов нефти таких крупных месторождений, как Правдинское, Салымское, Северо-Салымское и Приразломное, числятся в нераспределенном фонде недр, из которых 182 млн т находятся ниже ограничения пользования недрами по глубине в пределах контуров участков с долгосрочными действующими лицензиями компании «Роснефть». В 2015 г. открыта крупная залежь на Приобском месторождении с текущими извлекаемыми запасами около 20 млн т. Особенностью Красноленинского месторождения, которое разрабатывается несколькими недропользователями, является то, что залежи открыты в нижнетутлеймской подсвите и абалакской свите. В нижнетутлеймской подсвите залежи приурочены к пласту ЮК₀, в абалакской — к пластам ЮК₁ и П (вогулкинская толща). Текущие извлекаемые запасы нефти баженовско-абалакского

НГК по Красноленинскому месторождению в целом составляют 81 млн т, при этом к абалакской свите отнесено в 3 раза больше запасов УВ, чем к баженовской (нижнетутлеймской) свите. Накопленная добыча из пласта ЮК₁ на 01.01.2021 г. превышает 6,9 млн т, из пласта П — 1,8 млн т, из пласта ЮК₀ составляет лишь 0,6 млн т.

В 2010–2020 гг. компания «Роснефть» добыла из баженовских отложений 0,9 млн т нефти. В этот же период компания пробурила 150 поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения баженовско-абалакского комплекса, которые были испытаны в 60 скважинах, успешность составила 55 % (в 33 скважинах отмечены притоки нефти). Средний дебит нефти составил 3,8 м³/сут. Непромышленные притоки нефти (дебитом менее 1 м³/сут) получены в 40 % успешных испытаний, в 45 % случаев притоки нефти достигли 10 м³/сут и лишь в 14 % — более 10 м³/сут. В 9 скважинах испытания проводили с ГРП. Получили притоки нефти: промышленные — в 5 объектах и непромышленные — в 2 объектах. Средний дебит нефти после ГРП составил 10 м³/сут.

На балансе компании «ЛУКОЙЛ» числится 22 залежи в баженовско-абалакском комплексе, открытые на 8 месторождениях. Объектами подсчета запасов являются пласт Ю₁ абалакской свиты (10 залежей) и пласт Ю₀ (10 залежей), на Галяновском и Средне-Назымском месторождениях объект подсчета запасов ЮК₀₋₁ включает оба пласта. Два последних месторождения содержат самые значительные запасы компании в баженовско-абалакском комплексе: 21 и 7,8 млн т извлекаемых запасов нефти соответственно.

За последние 10 лет компания «РИТЭК» (дочернее предприятие ПАО «ЛУКОЙЛ») добыла из пласта ЮК₀₋₁ на Галяновском и Средне-Назымском месторождениях более 1 млн т нефти. За этот же период компания пробурила 174 поисково-разведочные скважины, вскрывшие баженовско-абалакский комплекс, который был испытан в 23 скважинах, успешность оценена в 57 % (в 13 скважинах получены притоки нефти). Средний дебит нефти составил 2,8 м³/сут. Непромышленные притоки нефти (дебитом менее 1 м³/сут) получены более чем в половине успешных испытаний, в трети случаев притоки нефти достигали 10 м³/сут и лишь в 8 % — более 10 м³/сут. В 6 скважинах испытания проводили с ГРП, получили притоки нефти: промышленные — в 2 объектах и непромышленные — в 3 объектах. Средний дебит нефти после ГРП составил 4,3 м³/сут.

В компании «РИТЭК» активно ведутся работы по созданию инновационных методов разработки трудноизвлекаемых запасов нефти баженовской свиты. В качестве полигона используется Средне-Назымское месторождение, на котором с 2009 г. на опытном участке скв. 219 проводился эксперимент по применению технологии термогазового воздействия. После 6 лет закачки воздуха вблизи нагнетательной скважины была пробурена скважина с отбором керна из баженовских отложений.

Изучение керна показало, что воздействию температуры подверглись лишь интервалы толщиной в первые десятки сантиметров с пористостью более 10 %, сложенные радиоляритами (суммарная толщина 3,5 м) [6]. Был сделан вывод, что закачка воздуха может являться способом поддержания пластового давления в коллекторах и, следовательно, повышения нефтеотдачи. Однако вовлечения в разработку низкопроницаемых нефтематеринских пород, содержащих сорбированные жидкие УВ, не происходит [7]. На месторождении проходит апробация технология бурения скважин с протяженным горизонтальным окончанием в нижней толще баженовской свиты в интервале развития естественных коллекторов с последующим многостадийным ГРП (МГРП).

Газпромнефть осуществляет два проекта освоения баженовских отложений на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: на Пальяновской площади Красноленинского месторождения (Газпромнефть-Пальян) и на Салымской группе месторождений.

В 2013 г. была открыта залежь в пласте Ю₀ на Верхнесалымском месторождении (лицензионный участок Салымский 2), в 2020 г. открыто месторождение Солхэм с залежью в баженовской свите на лицензионном участке Салымский 3.

В течение 10 лет Газпромнефть пробурила 29 поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения баженовско-абалакского комплекса, который был испытан в 7 скважинах, успешность составила 72 % (в 5 скважинах получены притоки нефти, лишь в одной дебит превысил 10 м³/сут). Средний дебит нефти составил 7,7 м³/сут. В поисково-оценочной скв. Салымская-5П на лицензионном участке Салымский 3 применялся МСГРП, скважина пробурена с горизонтальным стволом длиной 1131 м в отложениях баженовской свиты. Получен промышленный приток нефти с газом, дебит нефти составил более 20 м³/сут.

Совместное предприятие Газпромнефти и Шелл — компания «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» занималась освоением баженовской свиты на Верхнесалымском месторождении. В средней части свиты был выделен прослой мощностью около 8 м, представленный силицитом с незначительными примесями глинистых минералов [8]. Этот прослой с пористостью 12–13 % и проницаемостью около 10⁻³ мкм² является обычным коллектором с низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Был сделан вывод, что этот объект подходит на роль аналога Среднего Баккена, который изначально имеет очень низкие фильтрационно-емкостные свойства, но за счет ГРП в нем создаются искусственные трещины, большая площадь дренирования обеспечивается за счет бурения протяженных горизонтальных стволов скважин. Введенные в 2014 г. против России санкции помешали активной разработке российского Среднего Баккена.

За 2010–2020 гг. «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» пробурила 5 поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения баженовско-абалакского комплекса, которые были испытаны в 2 скважинах. В разведочной скв. Верхнесалымская-45 получен промышленный приток нефти после ГРП дебитом нефти более 10 м³/сут, в разведочной скв. Верхнесалымская-44 в результате испытания приток не выявлен.

На Пальяновской площади компания «Газпромнефть-Пальян» реализует программу опытно-производственных работ. За 2010–2020 гг. здесь добыто из баженовских отложений более 200 тыс. т нефти. В 2011 г. проведены опытно-методические работы по изучению и прогнозированию зон развития трещинно-кавернозных коллекторов баженовско-абалакского комплекса на основе структурно-деформационного анализа по материалам сейсморазведки 3D [9]. Была предложена модель Пальяновского месторождения, основанная на концепции формирования улучшенных коллекторских свойств баженовско-абалакского комплекса в зоне выступов доюрского комплекса за счет вторичных процессов карбонатизации и фосфоритизации, индуцированных активным тектоническим развитием территории. Однако последующее бурение 5 наклонно-направленных и 2 пологих скважин показало, что установленная гидротермальная проработка пласта не гарантирует получение существенных притоков. В работе [10] А.Д. Алексеев предлагает новую концепцию и обосновывает перспективность погруженной зоны развития баженовской свиты на Пальяновской площади. Среди благоприятных факторов: увеличенная толщина, в том числе радиоляритового слоя с максимальной концентрацией подвижных УВ, повышенная емкость, приуроченная к сохраненной реликтовой пористости радиоляритов; отсутствие разломов, обеспечивающее хорошую прослеживаемость разреза по площади; отсутствие влияния исторической разработки. Для подтверждения перспектив разработки более погруженных зон баженовской свиты пробурена вторая горизонтальная скважина длиной 1000 м с 9 стадиями ГРП. Скважина дала фонтанирующий приток нефти дебитом 45 т/сут [11].

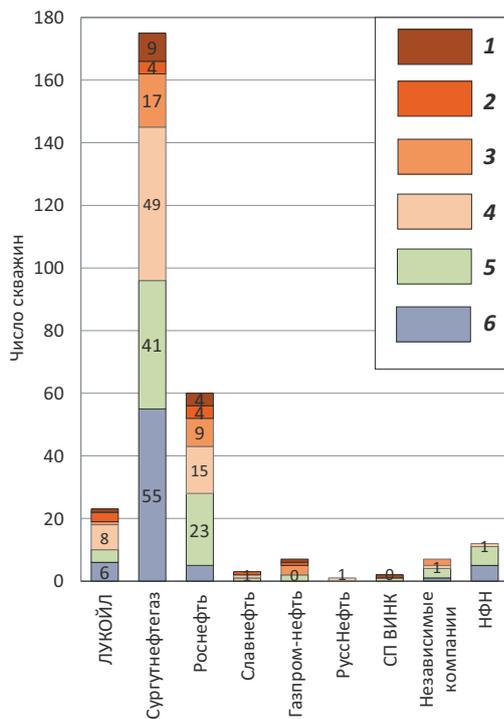
В 2018–2020 гг. на Пальяновской площади планировался эксперимент для развития технологий бурения и заканчивания: к концу 2020 г. число горизонтальных скважин должно было составить 12, их длина — 1200–1500 м, число стадий — 24–30, длина стадий ГРП — 50 м.

На балансе компании «РуссНефть» числится 7 залежей в баженовско-абалакском комплексе, открытых на 4 месторождениях: на Восточно-Каменном (2 залежи в пласте ЮК₁) на Красноленинском своде; Ханты-Мансийском (ЮК₀, ЮК₁), Верхне-Шапшинском (2 залежи в пласте ЮС₀) и Средне-Шапшинском (ЮС₀) во Фроловской мегавпадине. В залежах баженовской свиты последних двух месторождений содержится в сумме 2,4 и 3,4 млн т из-



Рис. 2. Результаты испытаний баженовско-абалакского комплекса на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2010–2020 гг. по компаниям

Fig. 2. Results of Bazhenov-Abalak Play testing by the companies in the territory of Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra in 2010–2020



Дебит нефти, м³/сут (1–4): 1 — > 10, 2 — 5–10, 3 — 1–5, 4 — < 1; 5 — нет притока; 6 — остальные результаты

Oil flowrate, m³/day (1–4): 1 — > 10, 2 — 5–10, 3 — 1–5, 4 — < 1; 5 — no inflow; 6 — other results

влекаемых запасов соответственно.

В 2010–2020 гг. компания добыла из баженовских отложений более 100 тыс. т нефти. Пробурировала 7 поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения баженовско-абалакского комплекса, которые были испытаны в 2 скважинах и получены притоки нефти. В поисковой скв. 629 Восточно-Каменной площади в результате испытания пласта ЮК₁ получен промышленный приток нефти дебитом более 100 м³/сут. В разведочной скв. 99 Пальяновской площади в результате испытания получен непромышленный приток нефти.

На балансе компании «Славнефть» числится 2 залежи в баженовско-абалакском комплексе на месторождениях Западно-Асомкинское 2 и Западно-Усть-Балыкское в Среднеобской нефтегазональной области. Суммарные извлекаемые запасы нефти 2 залежей превышают 1,5 млн т. В течение 2010–2020 гг. компания пробурировала более 50 поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения баженовско-абалакского комплекса, которые были испытаны в 3 скважинах, в 2 скважинах по-

лучены притоки нефти. В разведочной скв. Западно-Усть-Балыкская-3013 после проведения ГРП выявлен промышленный приток нефти с водой.

На балансе 7 независимых компаний находится 20 залежей. Основные запасы приходятся на залежи в баженовской и абалакской свитах разрабатываемого Красноленинского месторождения. Суммарные извлекаемые запасы компаний «ТрансОйл» и «ИНГА» составляют более 2 и более 5 млн т соответственно. Особняком стоят самые «восточные» баженовские залежи, открытые в пласте ЮВ₀ Сибирской геологической компанией на Колтогорском и Западно-Колтогорском месторождениях в Надым-Пурской НГО, извлекаемые запасы которых составляют около 7 и более 6 млн т соответственно.

В течение 2010–2020 гг. независимыми компаниями пробурены 42 поисково-разведочные скважины, вскрывшие баженовско-абалакский комплекс, который был испытан в 6 скважинах, в скважинах 103 и 141 Колтогорской площади получены притоки нефти.

На текущий момент на территории нераспределенного фонда недр находится 22 поисково-разведочные скважины, пробуренные в 2010–2020 гг. и вскрывшие баженовско-абалакский комплекс. Испытания комплекса проведены в 12 скважинах, лишь в одной скв. Лоркотьюганская-7141 получен непромышленный приток нефти. В 2018 г. в 17 км к юго-востоку от Средне-Назымского месторождения для изучения геологического строения и оценки перспектив нефтегазональности баженовской свиты пробурена параметрическая скв. Баженовская-1. В скважине в процессе бурения испытано 2 объекта баженовско-абалакских отложений: верхняя, выделяемая по максимальным значениям гамма-каротажа, толща нижнетутлеймской подсвиты и нижнетутлеймская подсвита вместе с кровлей абалакской свиты. Последний интервал планировался для испытания в эксплуатационной колонне, но произошла авария, объект остался неиспытанным.

Таким образом, в 2010–2020 гг. баженовско-абалакский комплекс рассматривался в качестве поискового объекта в каждой третьей вскрывшей его скважине. Вероятность получения притока нефти по трем компаниям, выполнившим представительное число испытаний (Сургутнефтегаз, Роснефть, ЛУКОЙЛ), составила 45–57 % (рис. 2, таблица). Средний дебит равен 3–4 м³/сут, доля промышленных притоков — 40–60 %, примерно каждый десятый из полученных притоков превышает 10 м³/сут. Испытания с ГРП единичные, лишь по компании «ЛУКОЙЛ» доля испытаний с ГРП составила 26 %. Средние дебиты с применением ГРП по трем вышеназванным компаниям составили 15; 10 и 4 м³/сут соответственно.

Добыча нефти из баженовско-абалакского НГК

Согласно Государственному балансу запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2021 г., накопленная добыча нефти из пластов баженовско-

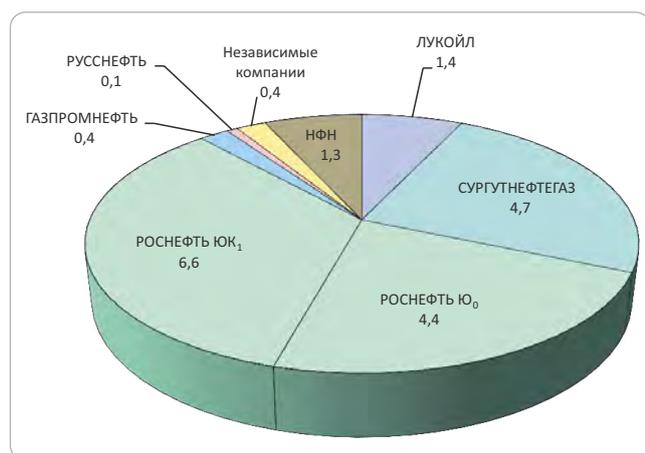
Таблица. Результаты испытаний баженовско-абалакского комплекса в 2010–2020 гг.

Table. The results of Bazhenov-Abalak Play series testing in 2010–2020

Характеристики	ЛУКОЙЛ	Сургутнефтегаз	Роснефть	Славнефть	Газпромнефть	РуссНефть	СП ВИНК	Независимые компании	НФН
Число испытанных скважин	23	175	60	3	7	1	2	7	12
Доля испытаний с притоком нефти, %	57	45	53	67	71	100	50	43	8
Доля промышленных притоков нефти, %	38	38	53	50	100	-	100	67	-
Доля притоков с дебитом нефти > 5 м ³ /сут, %	31	16	25	50	40	-	100	-	-
Средний дебит нефти без ГРП	3	4	4	5	8	56	13	1	1
Число скважин с ГРП	6	5	9	1	1	-	1	-	-
Доля скважин с ГРП, %	26	3	15	33	14	-	50	-	-
Средний дебит нефти после ГРП, м ³ /сут	4	15	10	10	24	-	13	-	-

Рис. 3. Накопленная добыча нефти из баженовско-абалакского НГК на 01.01.2021 г., млн т

Fig. 3. Cumulative oil production from Bazhenov-Abalak Play as on 01.01.2021, mln tons



абалакского НГК (за исключением добычи из пласта П вогулкинской толщи на Красноленинском месторождении) на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры составила 19,3 млн т (рис. 3).

На залежи, отнесенные к абалакской свите (пласты, проиндексированные в балансе запасов как Ю₁, Ю_{К1}, Ю_{С1}), приходится 7 млн т нефти, из которых 6,6 млн т добыто из пласта Ю_{К1} Красноленинского месторождения. На рис. 4 представлен график добычи нефти из баженовско-абалакского комплекса, построенный по данным из региональной базы по добыче НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, формирующейся на основании месячных эксплуатационных рапортов (МЭР) недропользователей.

В 2000–2007 гг. добывалось до 130 тыс. т нефти в год. В 2008 г. происходит увеличение добычи более чем в 2,5 раза — до 328 тыс. т. В 2013–2014 гг. достигнут уровень добычи более 700 тыс. т. В 2014 г. после введения санкций против России, добыча существенно снизилась до 500–600 тыс. т. В 2020 г.

на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры из баженовско-абалакского комплекса, согласно МЭРам, добыто 873 тыс. т нефти. В 2020 г. добыча из баженовско-абалакского НГК велась на 18 месторождениях (если рассматривать Красноленинское месторождение в целом, без деления на недропользователей) из 254 скважин.

По мнению академика А.Э. Конторовича [11], необходимо создать особые технологии для эффективной добычи нефти из баженовской свиты. Уникальность свиты как объекта разработки заключается в том, что отложения этой свиты, благодаря минеральному составу, высокому содержанию ОВ и характеру пористости, обусловленному во многом свойствами керогена, представляют собой пластичное или упругопластичное тело, что делает неэффективным применение технологий разработки, ориентированных на модель преимущественно упругого геологического тела.

Выше уже упоминались опытные работы по термическому воздействию (посредством закачки газа) на баженовскую свиту на Средне-Назымском месторождении, проводимые РИТЭК. На месторождении получен достаточно эффективный как по входным дебитам, так и по интегральным показателям опыт горизонтального бурения с многозонным ГРП.

По мнению ряда специалистов, перспективной может оказаться технология гидротермического воздействия: нагнетание в пласт воды, разогретой до температуры около сотен градусов Цельсия. При взаимодействии с горячей водой порода становится гидрофильной, что позволяет вытеснять нефть водой. Сдерживающим фактором выступает аномально высокое пластовое давление, ограничивающее потенциальные репрессии нагнетательных скважин. Поэтому рекомендуется предварительная разработка на естественном режиме для снижения пластового давления до гидростатического.



Рис. 4. Годовая добыча нефти из баженовско-абалакского комплекса в 2000–2020 гг.
Fig. 4. Annual oil production from Bazhenov-Abalak Play in 2000–2020

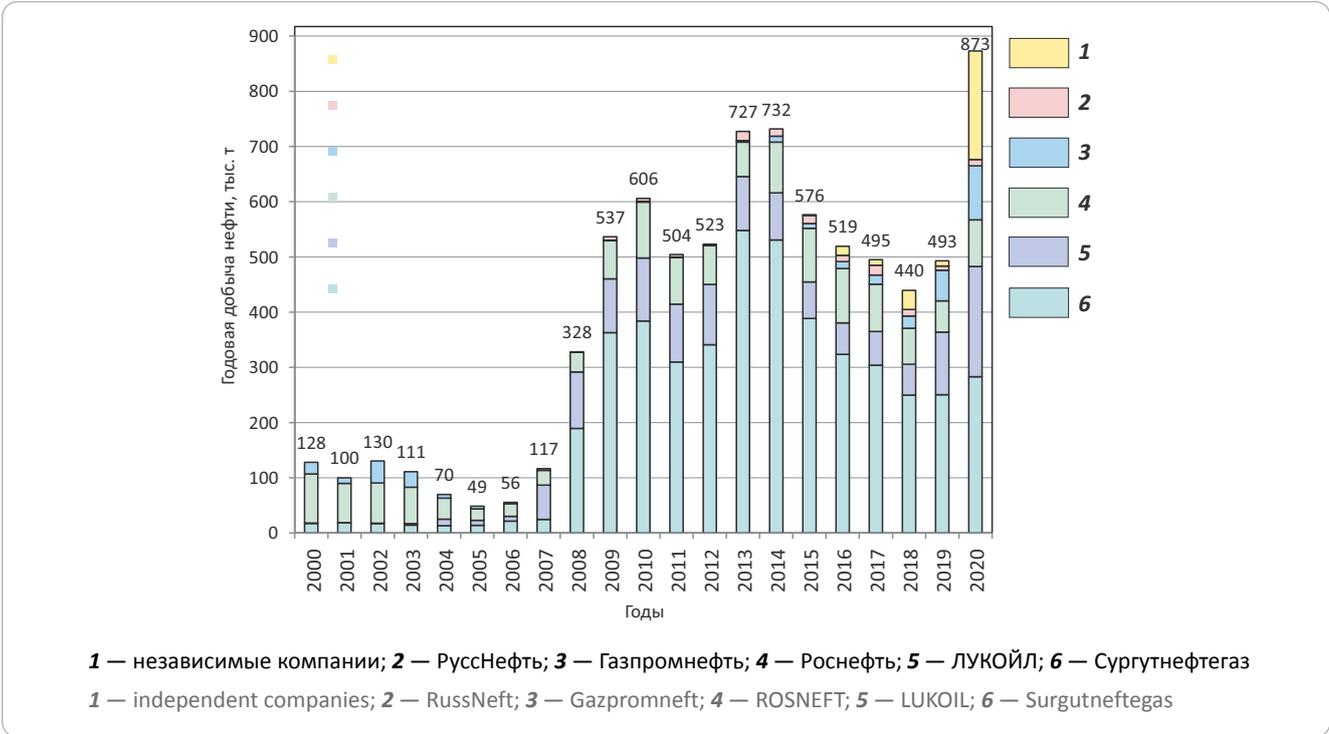
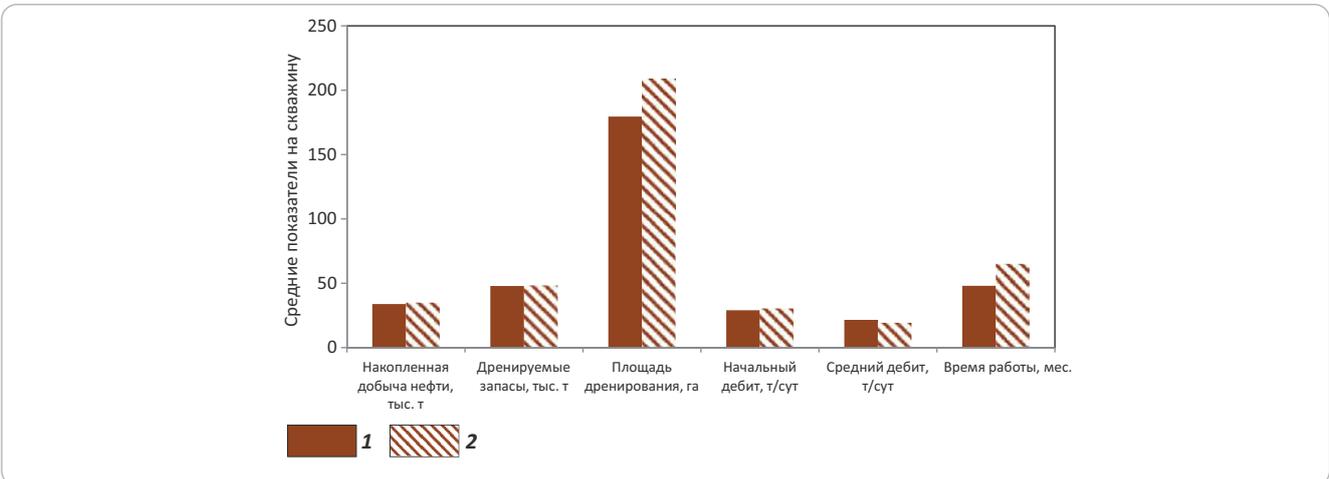


Рис. 5. Сопоставление средних показателей разработки по скважинам обычного (1) и сложного (2) профиля, добывавших нефть из объектов баженовско-абалакского НГК в пределах Приобского нефтегазоносного района
Fig. 5. Comparison of performance parameters in the wells of conventional (1) and designer (2) wells producing from the objects of Bazhenov-Abalak Play within the Priobsky Petroleum Region



В большинстве проектных документов в качестве основного способа воздействия на пласты баженовско-абалакского НГК рассматриваются ГРП и бурение скважин сложного профиля (с боковыми стволами, горизонтальные). Однако сравнительный анализ опыта работы скважин обычного и сложного профилей не выявил по последним существенных преимуществ (рис. 5).

Фактический опыт применения многозонного ГРП на объектах баженовско-абалакского НГК не дает однозначной оценки действенности данного метода. В качестве положительных результатов можно отметить относительно высокие дебиты

скважин, их кратное увеличение (если речь идет о переходящих скважинах). В то же время дебиты скважин с МГРП в большей степени подвержены снижению, из-за чего интегральные показатели их эффективности оцениваются на низком уровне. Быстрое снижение дебитов скважин с МГРП наблюдается не только в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, но и на месторождении Баккен – крупнейшем в США месторождении сланцевой нефти.

Согласно парадигме компании «Газпромнефть», для разработки баженовской свиты необходимо перейти от концепции системы разработки к

высокотехнологичной одиночной горизонтальной скважины с МГРП [12]. Для оценки эффективности предлагается использовать показатель стоимости строительства скважины на 1 т накопленной добычи нефти. На Пальяновском лицензионном участке этот показатель, составивший 30 тыс. р/т в 2013 г., в 2021 г. снизился до 13 тыс. р/т.

Заключение

22 сентября 2021 г. был утвержден паспорт Федерального проекта «Технологии освоения трудноизвлекаемых углеводородов» [13], рассчитанный на реализацию в 2021–2024 гг. Оператором проекта выступает ООО «Газпромнефть – Технологические партнерства». В Проекте поставлена задача снижения удельного показателя соотношения затрат на строительство скважины к накопленной добыче до уровня менее 8,5 тыс. р/т, что обеспечит рентабельность добычи.

Планируется запуск ряда технологических проектов по направлениям: технологии и оборудование заканчивания скважин, включая высокотехнологичные дизайны ГРП; технологии и оборудование увеличения коэффициента повышения нефтеотдачи в нетрадиционных запасах путем применения третичных методов увеличения нефтеотдачи; со-

временные технологии и оборудование мобильного (блочного-модульного) обустройства месторождений и бурения скважин.

Риски при разработке технологий предполагается разделить между бизнесом и государством. Вероятно, что на начальном этапе ВИНКи совместно с другими заинтересованными участниками проведут комплекс научно-исследовательских работ для формирования потребностей и общепромышленного технического задания на проектирование оборудования. На следующем этапе предполагается софинансирование части затрат на опытно-конструкторские работы со стороны государства. Финансирование завершающей стадии будет производиться из внебюджетных источников.

Всего в рамках освоения баженовской свиты в федеральном проекте предполагается 5 технологических проектов и бурение 37 скважин с накопленной проходкой в горизонтальном бурении 103,6 тыс. м и 1783 ГРП накопленным итогом.

Реализация Федерального проекта позволит создать комплекс отечественных рентабельных технологий освоения баженовской свиты и обеспечить повышение добычи нефти в Западной Сибири в объеме не менее 40 млн т/год к 2035 г.

Литература

1. *World Energy Outlook 2021* [Электронный ресурс] // International Energy Agency. – 2021. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (дата обращения 10.11.2021).
2. *Основные тенденции развития мирового рынка жидких углеводородов до 2035 года* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lukoil.ru/FileSystem/9/451551.pdf> (дата обращения 10.11.2021 г.).
3. *Методические рекомендации по подсчету запасов нефти в отложениях баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/mr_po_pz_nefti_v_otl_bg_zsnr_na_sayt.pdf (дата обращения 10.11.2021).
4. *Чирков В.Л., Сонич В.П.* Степень геологической изученности баженовской свиты на территории деятельности ОАО «Сургутнефтегаз» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.petroleumengineers.ru/sites/default/files/bazhenovskaya_svita_v_surgutneftegaz.pdf (дата обращения 10.11.2021).
5. «Сургут» на бажене // Нефть и капитал. – 2014. – № 4. – С. 24–26.
6. *Немова В.Д.* Ключевые аспекты эффективности технологии извлечения сорбированных углеводородов нефтематеринских пород [Электронный ресурс]. – Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15. – № 1. – Режим доступа: https://ngtp.ru/upload/iblock/4d9/1_2020.pdf (дата обращения 10.11.2021). DOI: 10.17353/2070-5379/1_2020
7. *Немова В.Д.* Техногенез и техноморфизм: теория и подходы к исследованиям на примере верхнеюрских отложений Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2021. – № 2. – С. 7–14. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-2-7-14.
8. *Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на Верхнем Салыме* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rogtcmagazine.com/баженовская-свита-в-поисках-большой-с/?lang=ru> (дата обращения 10.11.2021).
9. *Стрижнев К.* Опыт разработки нетрадиционных видов углеводородов на месторождениях «Газпром нефти» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rogtcmagazine.com/опыт-разработки-нетрадиционных-видов/?lang=ru> (дата обращения 10.11.2021).
10. *Алексеев А.Д., Жуков В.В., Стрижнев К.В., Черевко С.А.* Изучение трудноизвлекаемых и нетрадиционных объектов согласно принципу «фабрика коллектора в пласте» // Записки горного института. – 2017. – Т. 228. – С. 695–704. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.695.
11. *Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В.* Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89. – № 11. – С. 1095–1104. DOI: 10.31857/S0869-587389111095-1104.
12. *Андреева Н.Н., Стрижнев К.В., Алексеев Ю.В.* Первые результаты работы над концепцией полигона общего доступа «Бажен» // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 22–27. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-3-22-27.
13. *Технологии освоения трудноизвлекаемых углеводородов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/14095> (дата обращения 10.11.2021).

References

1. *World Energy Outlook example*. International Energy Agency; 2021. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (accessed: 10.11.2021).

2. *Osnovnye tendentsii razvitiya mirovogo rynka zhidkikh uglevodorodov do 2035 goda* [Global market of liquid hydrocarbons: main trends of the development until 2035]. Available at: <https://lukoil.ru/FileSystem/9/451551.pdf> (accessed: 10.11.2021). In Russ.
3. *Metodicheskie rekomendatsii po podschetu zapasov nefti v otlozheniyakh bazhenovskoi svity Zapadno-Sibirskoi neftegazonosnoi provintsii* [Recommended practices for oil reserves assessment in the Bazhenov Formation of West Siberian Petroleum Province]. 2021. Available at: https://gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/mr_po_pz_nefti_v_otl_bg_zsnp_na_sayt.pdf (accessed: 10.11.2021). In Russ.
4. *Chirkov V.L., Sonich V.P.* Stepen' geologicheskoi izuchennosti bazhenovskoi svity na territorii deyatelnosti OAO "Surgutneftegaz" [Geological exploration maturity of the Bazhenov Formation in the area of Surgutneftegas Company activities]. Available at: https://www.petroilemengineers.ru/sites/default/files/bazhenovskaya_svita_v_surgutneftegaz.pdf (accessed: 10.11.2021). In Russ.
5. "Surgut" na bazhene ["Surgut" on Bazhen]. *Neft' i kapital*. 2014;(4):24–26. In Russ.
6. *Nemova V.D.* Key aspects of the efficiency of sorbed hydrocarbons development technology in source rocks. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2020;15(1). Available at: https://ngtp.ru/upload/iblock/4d9/1_2020.pdf (accessed: 10.11.2021). DOI: 10.17353/2070-5379/1_2020. In Russ.
7. *Nemova V.D.* Technogenesis and technomorphism: theory and approaches to investigation on the example of the Upper Jurassic deposits of Western Siberia. *Geologiya nefti i gaza*. 2021;(2):7–14. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-2-7-14. In Russ.
8. *Bazhenovskaya svita: v poiskakh bol'shoi slantsevoi nefti na Verkhnem Salyme* [Bazhenov Formation: in search of big shale oil in Upper Salym field]. Available at: <https://www.rogtectmagazine.com/баженовская-свита-в-поисках-большой-с/?lang=ru> (accessed: 10.11.2021). In Russ.
9. *Strizhnev K.* Opyt razrabotki netraditsionnykh vidov uglevodorodov na mestorozhdeniyakh "Gazprom nefti" [Experience of unconventional hydrocarbon development in Gazprom Neft fields]. Available at: <https://www.rogtectmagazine.com/опыт-разработки-нетрадиционных-видов/?lang=ru> (accessed: 10.11.2021). In Russ.
10. *Alekseev A.D., Zhukov V.V., Strizhnev K.V., Cherevko S.A.* Izuchenie trudnoizvlekaemykh i netraditsionnykh ob'ektov soglasno printsipu "fabrika kollektora v plaste". *Zapiski gornogo instituta*. 2017;228:695–704. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.695. In Russ.
11. *Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Livshits V.R., Ryzhkova S.V.* Main directions of development of the oil complex of Russia in the first half of the twenty-first century. *Herald of the Russian academy of sciences*. 2019;89(6):558–566. DOI: 10.1134/S101933161906008X.
12. *Andreeva N.N., Strizhnev K.V., Alekseev Yu.V.* First results of work on concept of field test site with public access Bazhen. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2020;(3):22–27. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-3-22-27. In Russ.
13. *Tekhnologii osvoeniya trudnoizvlekaemykh uglevodorodov* [Technologies of difficult-to-recover hydrocarbon development]. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/14095> (accessed: 10.11.2021). In Russ.

Информация об авторах

Оксенойд Елена Ефимовна

Кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделением

АУ «Научно-аналитический центр
рационального недропользования им. В.И. Шпилемана»,
625026 Тюмень, ул. Малыгина, д. 75, а/я 286

e-mail: oksenoyd@cr.ru

ORCID ID: 0000-0001-5704-8564

Scopus ID: 57194405769

Поповская Виолетта Георгиевна

Заведующий лабораторией

АУ «Научно-аналитический центр
рационального недропользования им. В.И. Шпилемана»,
625026 Тюмень, ул. Малыгина, д. 75, а/я 286

e-mail: popovskaya@cr.ru

Печерин Тимофей Николаевич

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

АУ «Научно-аналитический центр
рационального недропользования им. В.И. Шпилемана»,
625026 Тюмень, ул. Малыгина, д. 75, а/я 286

e-mail: timofey_crn@mail.ru

Демичев Павел Сергеевич

Научный сотрудник

АУ «Научно-аналитический центр
рационального недропользования им. В.И. Шпилемана»,
625026 Тюмень, ул. Малыгина, д. 75, а/я 286

e-mail: brviperm@rambler.ru

Information about authors

Elena E. Oksenoyd

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Head of a Department

Autonomous Institution "V.I. Shpilman Research
and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil"
P.O.B. 286, 75 ul. Malygina, Tyumen' 625026 Russia

e-mail: oksenoyd@cr.ru

ORCID ID: 0000-0001-5704-8564

Scopus ID: 57194405769

Violetta G. Popovskaya

Head of laboratory

Autonomous Institution "V.I. Shpilman Research
and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil"
P.O.B. 286, 75 ul. Malygina, Tyumen' 625026, Russia

e-mail: popovskaya@cr.ru

Timofey N. Pechyarin

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher

Autonomous Institution "V.I. Shpilman Research
and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil"
P.O.B. 286, 75 ul. Malygina, Tyumen' 625026, Russia

e-mail: timofey_crn@mail.ru

Pavel S. Demichev

Researcher

Autonomous Institution "V.I. Shpilman Research
and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil"
P.O.B. 286, 75 ul. Malygina, Tyumen' 625026, Russia

e-mail: brviperm@rambler.ru