

Казанский Федеральный Университет.

Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов

Kazan Federal University.

Department of oil & gas technology and carbon materials

Исследование Ковыктинского газоконденсатного месторождения

Study of the Kovyktinskoye gas condensate field

Газизова Гульназира Ильгизовна, Gazizova Gulnazira Ilgizovna ¹

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ²

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов¹

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, Член Экспертного совета Российского газового общества (РГО),

и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО, профессор РАЕ²

E-mail: gulnazira-gazizova@yandex.ru, kemalov@mail.ru

Аннотация В качестве объекта исследования выбрано Ковыктинское газоконденсатное месторождение. Ковыктинское газоконденсатное месторождение — крупнейшее на Востоке России по запасам газа. Является базовым для формирования Иркутского центра газодобычи и ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири» наряду с Чаяндинским месторождением в Якутии. По величине залежей принадлежит к числу уникальных, по фазовому соотношению — к газоконденсатным. Глубина залегания колеблется от 2838 до 3388 метров. Объем природных ископаемых оценивается в 2,5 трлн кубометров газа (1,9 трлн извлекаемого) и около 107 млн т газового конденсата, из них к добыче доступны 81,3 млн. Газ Ковыкты имеет неординарную структуру и содержит в своем составе метан, пропан, бутан и гелий. Запасы последнего оцениваются в 2,3 миллиарда кубометров. В разрезе также имеются зоны высокоминерализованной воды и высокого пластового давления.

Abstract The Kovykta gas condensate field was chosen as the object of research. The Kovykta gas condensate field is the largest in the East of Russia in terms of gas reserves. It is the base for the formation of the Irkutsk gas production Center and the resource base for the Power of Siberia gas pipeline along with the Chayandinsky field

in Yakutia. In terms of the size of the deposits, it belongs to the number of unique ones, in terms of the phase ratio — to gas condensate. The depth of occurrence ranges from 2838 to 3388 meters. The volume of natural resources is estimated at 2.5 trillion cubic meters of gas (1.9 trillion recoverable) and about 107 million tons of gas condensate, of which 81.3 million are available for extraction. Kovykta gas has an extraordinary structure and contains methane, propane, butane and helium in its composition. The reserves of the latter are estimated at 2.3 billion cubic meters. There are also zones of highly mineralized water and high reservoir pressure in the section.

Ключевые слова: Ковыктинское газоконденсатное месторождение, газоконденсатное месторождение, геологическая характеристика, газ, газопровод, бутан, точка росы, гидраты, продуктивные пласты, глубинные шельфы, пластовое давление.

Keywords: Kovykta gas condensate field, gas condensate field, geological characteristics, gas, gas pipeline, butane, dew point, hydrates, productive formations, deep shelves, reservoir pressure.

1 Общие сведения о месторождении

Месторождение открыто в 1987 году на территории Жигаловского и Казачинско-Ленского районов Иркутской области.

По размеру извлекаемых запасов относится к категории уникальных: 1,8 трлн куб. м газа и 65,7 млн тонн газового конденсата (извлекаемые) — в пределах лицензионных участков ПАО «Газпром» (Ковыктинский, Хандинский, Чиканский) (Рисунок 1).

Месторождение расположено в необжитой местности на востоке Иркутской области, в 450 км к северо-востоку от Иркутска, на территории Жигаловского и Казачинско-Ленского районов. Территория месторождения представляет собой высокогорное плато, покрытое тёмнохвойной тайгой (в отдельных районах — на вечной мерзлоте). Рельеф осложнён многочисленными долинами — каньонами. Климат суровый, резко континентальный.

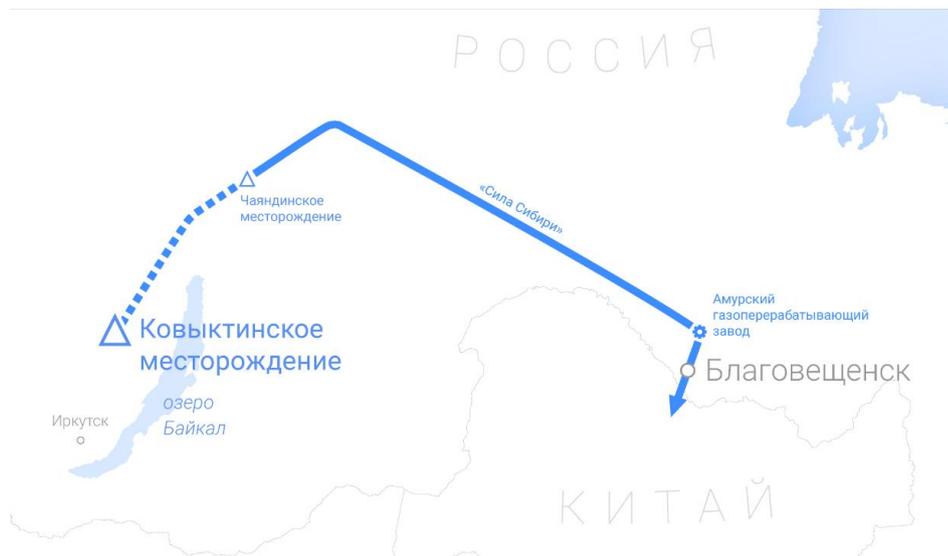


Рисунок 1. Расположение Ковыктинского газоконденсатного месторождения [4]

По размеру запасов (категории С1+С2) месторождение относится к категории уникальных: 2,7 трлн м³ газа и 90,6 млн тонн газового конденсата (извлекаемые) — в пределах лицензионных участков ПАО «Газпром» (Ковыктинский, Хандинский, Чиканский) [1]. Однако в 2019 году запасы были уточнены.

По результатам разведочного бурения северо-восточный участок показал почти нулевой дебет скважин, запасы были уменьшены до 2,4 трлн м³. Планируемая проектная мощность — 25 млрд м³ газа в год [4].

Газ месторождения имеет сложный компонентный состав — кроме метана он содержит пропан, бутан и значительные объёмы гелия. Ценные компоненты ковыктинского газа будут выделяться на Амурском газоперерабатывающем заводе [1].

2 Геологическая характеристика месторождения

Ангаро-Ленская ступень в настоящее время рассматривается в качестве одной из наиболее крупных зон преимущественно газонакопления на Сибирской платформе. На её территории открыт ряд крупных месторождений, таких как крупнейшее по запасам газоконденсата Ковыктинское, а также Ангаро-Ленское, Хандинское, Чиканское, Левобережное, Братское, Атовское, Чиканское и др. Притоки газа были получены на Парфёновской, Коркинской, Христофорской, Балыхтинской и многих других площадях. Многочисленные газопроявления

были отмечены практически на всей территории в пределах всего венд-кембрийского разреза. Все это, а также близость планируемых к строительству магистральных газопроводов создает все предпосылки для формирования на этой территории крупнейшего газодобывающего центра Восточной Сибири. Геолого-геофизические работы, проведенные на изученной территории, показали высокую степень литофациальной неоднородности отложений, прежде всего наиболее перспективного в нефтегазоносном отношении парфеновского горизонта, коллекторские свойства которого в пределах Ангаро-Ленского и Ковыктинского месторождений существенно дифференцированы. В качестве критерия поиска улучшенных коллекторов горизонта в пределах исследуемой территории использовались амплитуды отраженных волн, связь которых с фильтрационно-емкостными свойствами отложений установлена ранее при разведке Ковыктинского ГКМ, однако результаты дальнейших геологоразведочных работ были признаны малоудовлетворительными, на что указывают, прежде всего, отрицательные результаты испытания скважины Правобережной площади, в которой притоков углеводородов не получено ни в одном из перспективных горизонтов терригенного комплекса.

Детальный анализ кернового материала позволил сделать вывод о том, что парфеновский горизонт на Ковыктинском и Ангаро-Ленском месторождениях представлен отложениями разных фациальных обстановок, что предполагает различный подход к прогнозу коллекторских свойств отложений. В этом плане весьма актуальным представляется анализ и обобщение геолого-геофизических данных по территории Ковыктинского, Ангаро-Ленского и Левобережного месторождений и создание единой сейсмогеологической модели вендских терригенных отложений для оценки перспектив их нефтегазоносности и выявления первоочередных зон для постановки детальных геологоразведочных работ. Осадочный чехол на исследуемой территории представлен в основном рифейскими, вендскими, кембрийскими и в меньшей степени ордовикскими отложениями. Мощность осадочного чехла изменяется от 2,5 до 4 км. Терригенный венд на исследуемой территории представлен чорской свитой, которая в свою очередь подразделяется на нижне- и верхнечорскую подсвиты. В

составе первой из них выделены базальный, боханский, в кровельной части - шамановские продуктивные горизонты. Верхнечорская подсвета, согласно официально принятым стратиграфическим схемам, в полном объеме выделяется в качестве парфеновского горизонта [3].

В настоящей работе в качестве парфеновского горизонта рассматривается песчаный интервал, залегающий в верхней части верхнечорской подсветы, нижняя граница которого не является изохронной. На территории Ковыктинского месторождения по литологическим признакам и форме каротажных кривых разделяется на пачки П2 и П1 (вверх по разрезу), с нижней пачкой связана газовая залежь. На смежных территориях разделение парфеновского горизонта на пачки П1 и П2 не так ярко выражено, а на некоторых вовсе отсутствует. Кембрийский интервал в основном сложен галогено-карбонатными породами, в верхней части - терригенными отложениями. На рассматриваемой территории выделяется два структурно-тектонических комплекса - венд-нижнекембрийский подсолевой и нижнекембрийский солевой. Такое разделение обосновано существенными различиями структурных планов подсолевых и солевых уровней. Для подсолевых горизонтов (ОГ А - кровля осинского горизонта, ОГ М - кровля чорской свиты, ОГ Ro - кровля рифейской толщи либо кристаллического фундамента) характерно моноклиналиное погружение в северо-западном направлении. Такой характер тектонического строения создает предпосылки для поиска залежей неантиклинального типа. Построение набора структурных карт и карт толщин продуктивных горизонтов вендского терригенного комплекса выполнено в интегрированном программном комплексе W-Seis (ИНГГ СО РАН) на основе сейсмических временных разрезов МОГТ 2D общей протяженностью 5075 км, плотность сети профилей в среднем около 0,15 км/км².

Построению структурных карт предшествовал анализ результатов глубокого бурения и испытания продуктивных пластов. За этим следовала корреляция основных стратиграфических границ по данным ГИС и уточнение базы данных стратиграфических разбивок. Собственно, структурные построения выполнены в три этапа. На первом этапе осуществлялась корреляция основных

отражающих горизонтов (ОГ) и построение сеточных моделей значений наблюдаемых времен Т. Далее с использованием стратиграфических разбивок были построены карты средних скоростей, после чего путем перемножения карт времен и скоростей были получены структурные карты. В завершении были вычислены карты толщин путем вычитания из поверхностей кровли поверхностей подошвы горизонтов. Структурный план подсоловых горизонтов в целом схож и различается лишь в деталях. Структурный план солевых уровней имеет значительные отличия от подсоловых, что связано главным образом с широким распространением соляной тектоники. Анализ структурных поверхностей позволил сделать вывод о том, что рельеф по подошве вендских отложений характеризуется большей расчлененностью по сравнению с вышележащими горизонтами, что вполне отвечает характеру эрозионной поверхности фундамента. На территории Ангаро-Ленского месторождения рельеф осложнен серией небольших впадин и поднятий. В пределах центральной зоны выделяется ряд замкнутых и антиклинальных структур.

Структурный план кровли чорской свиты в целом подобен структурному плану подошвы вендских отложений на изученной территории. Центральная часть территории (район Ангаро-Ленского месторождения), представляет собой моноклиальный склон, слабо осложненный мелкими структурами. Анализ геолого-геофизических материалов по Ковыктинскому месторождению позволяет сделать вывод о том, что перспективы нефтегазоносности на нем связаны с развитием нижнего пласта парфеновского горизонта П2, формировавшегося в условиях дельты. Верхний пласт П1 сложен более мелкозернистыми разностями, на его формирование большое влияние оказывали приливо-отливные течения. В пределах Правобережной и Левобережной площадей, вероятно, получил развитие только верхний пласт П1, что существенно уменьшает перспективы газоносности парфеновского горизонта на этих территориях. В ходе выполненных исследований установлено, что низкоскоростные прослои, подобные таковым в разрезе парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ, отмечаются в разрезах скважин и других площадей - Ангаро-Ленской, Грузновской, Подволочной и Чорской.

Все эти площади тяготеют к областям развития увеличенных толщин песчаников парфеновского горизонта. В разрезе скважин Левобережной, Знаменской, Правобережной площадей такие прослои отсутствуют, промышленных притоков газа здесь не получено. Строение боханского горизонта в пределах изученной территории также существенно различно. Наименьшие толщины боханского горизонта отмечены на Левобережной площади, где он представлен одним песчаным пластом. На других площадях зачастую горизонт разделен глинистыми перемычками на два (Правобережная, Знаменская) и даже три (Чиканская) пласта. При анализе толщин боханского продуктивного горизонта была отмечена тенденция их увеличения в южном направлении. Данная особенность в совокупности со структурным фактором позволяет сделать вывод о том, что сосредоточить дальнейшие работы следует в районе Правобережной, Знаменской и Чиканской площадей, где уже получены притоки газа, от слабых до промышленных, и наиболее вероятно открытие новых залежей. Строение базального горизонта гораздо сложнее вышележащих горизонтов, так как он получил свое развитие в зонах эрозионных врезов и впадин поверхности кристаллического фундамента. Различия его состава и фильтрационно-емкостных свойств, вероятно, во многом определяются источником осадков. Перспективы нефтегазоносности базального горизонта, вероятно, следует связывать с территорией Левобережного месторождения, где следует продолжить геологоразведочные работы. Метод прогноза продуктивности на основе карт мощностей оказался неприменим для данного горизонта. Одной из причин этого может быть то, что горизонт вскрыт гораздо меньшим числом скважин по сравнению с вышележащими парфеновским и боханским горизонтами.

Ангаро-Ленская ступень (прогиб) представляет собой моноклираль, ограниченную на востоке и северо-востоке озером Байкал и Байкальской складчатой областью, на севере - Катангской седловиной, на западе и северо-западе - Непско-Ботуобинской антеклизой. Площадь прогиба составляет 500 тыс. км². В строении кристаллического фундамента прогиба принимают участие

метаморфизованные породы архей-протерозойского возраста. По многочисленным разломам фундамент разбит на тектонические блоки, которые полого погружаются от обрамления прогиба в сторону его центральной части, образуя так называемый амфитеатр (другое название Ангаро-Ленской ступени - Иркутский амфитеатр). Кроме того, строение фундамента осложнено структурными элементами II порядка - разнообразными поднятиями и выступами. С одним из таких выступов, Братским, связано газоконденсатное месторождение Братское. Ангаро-Ленская ступень - область широкого развития терригенно-карбонатных, а также соляных пород позднекембрийского и раннепалеозойского возраста. Разрез осадочных отложений имеет платформенный характер и представлен породами рифея, венда, кембрия и ордовика. Особенностью осадочного разреза Ангаро-Ленской ступени является наличие мощной (600-800 м) соленосной толщи нижнего кембрия. Мощность рифейских отложений составляет 0,3-5,4 км, вендских - 0,4-0,5 км, палеозойских - 2,5 км. Максимальная мощность всего осадочного чехла не превышает 4 км. В разрезе осадочного чехла выделяется три нефтегазоносных комплекса: рифейский карбонатный, вендский терригенный и нижнекембрийский карбонатный. Они вмещают 12 продуктивных горизонтов мощностью от 10 до 100 м. Главным продуктивным горизонтом, к которому приурочены основные залежи УВ, является парфеновский горизонт венда. Пространственное размещение залежей УВ в вендском и кембрийском комплексах контролируется литологическими особенностями пород (фациальными замещениями и, как следствие, изменением коллекторских свойств), что значительно осложняет процесс поиска новых залежей УВ. По структурно-литологическим особенностям в строении осадочного разреза Ковыктинской площади выделяется три формационных комплекса: подсолевой, соленосный и надсолевой.

Подсолевой комплекс сложен терригенными породами венда и карбонатными породами нижнего кембрия. Данные отложения с размывом и угловым несогласием залегают на выветрелой поверхности метаморфизованных пород фундамента Ангаро-Ленской ступени, а также рифейских отложениях. Отложения подсолевого комплекса являются основной газосодержащей толщей региона. В составе чорской свиты венда выделяется парфеновский горизонт, с

которым связаны основные запасы газа региона. Парфеновский горизонт имеет региональное распространение (рис. 2). Он сложен разномерными кварц-полевошпатовыми и кварцевыми косослоистыми песчаниками дельтовых и аллювиальных фаций. Мощность парфеновского горизонта на Ковыктинском месторождении составляет от 40-80 м. Пористость пород горизонта достигает 20%, проницаемость 2000 мд. Породы солевого комплекса представлены переслаиванием каменной соли с доломитами, известняками и ангидритами. В кровельной части нередки прослой мергелей, песчаников и доломитов. Общая мощность комплекса может достигать 1800 м. Надсолевой комплекс сложен терригенно-карбонатными породами среднего и верхнего кембрия, а также терригенными породами ордовика. Выше локально залегают плиоцен-четвертичные отложения аллювиальных комплексов: пески, песчаники, конгломераты, аргиллиты, алевролиты.

Ковыктинское месторождение было выявлено сейсморазведочными работами еще в конце 70-х годов прошлого века. Однако официальной датой открытия месторождения является 1987 г., когда была подтверждена его промышленная газоносность. В географическом отношении оно располагается в Жигаловском районе Иркутской области, приблизительно в 400 км к северо-востоку от столицы области г. Иркутска. Площадь Ковыктинского месторождения составляет около 7,5 тыс. м². Месторождение приурочено к северо-восточной оконечности Жигаловского поднятия. Тип ловушки - антиклинальный. Залежь - литологически экранированная. Глубина залегания залежи Ковыктинского месторождения составляет 2838-3388 м. Высота залежи - 155 м. Продуктивными являются пласты П2 и П1 парфеновского горизонта с мощностью 14-33 и 38-54 м соответственно. Ковыктинское газоконденсатное месторождение является одним из крупнейших в мире и самым крупным в Восточной Сибири. По данным на 2007 г. запасы газа по категории С1+С2 составляют приблизительно 2 трлн. м³, причем извлекаемые запасы газа по категории С1 - почти 70 млн. тонн, а по категории С2 - 15,5 млн. тонн. Однако по предварительным оценкам доразведка северной части месторождения может обеспечить прирост запасов до 3 трлн. м³.

3 Пути прогноза горно-геологических условий бурения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении

На Ковыктинском газоконденсатном месторождении (ГКМ) продолжается бурение разведочных скважин, пробурены эксплуатационные скважины с горизонтальным стволом в продуктивном парфеновском горизонте. По состоянию на 2016 г. в пределах Ковыктинского ГКМ пробурено всего 77 скважин: 5 параметрических, 26 поисково-оценочных, 40 разведочных, 7 эксплуатационных.

Геологический разрез Ковыктинского ГКМ характеризуется сложными горно-геологическими условиями бурения. Наиболее распространенным осложнением является поглощение бурового раствора вплоть до катастрофического. При бурении в надсолевом терригенно-карбонатном комплексе поглощения были зафиксированы практически во всех скважинах. При бурении в галогенно-карбонатном комплексе вероятность вскрытия зон поглощения бурового раствора наиболее высокая в келорском и бильчирском горизонтах. С увеличением глубины бурения вероятность вскрытия зон поглощения уменьшается.

Самым тяжелым и опасным осложнением в процессе бурения на Ковыктинском ГКМ является вскрытие объектов с аномально высоким пластовым давлением (АВПД), приуроченных к галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Величина пластового давления в зонах АВПД значительно превышает величину, соответствующую градиенту пластового давления для разреза Ковыктинского месторождения, и сопоставима с величиной горного давления. Вскрытые бурением объекты с АВПД приурочены к регионально распространенным карбонатным пластам, насыщенным высокоминерализованными пластовыми водами (рапой). Также одной из актуальных проблем Ковыктинского месторождения является вероятность вскрытия объектов с АВПД, приуроченных к неизвестным межсолевым карбонатным пластам.

На Ковыктинском ГКМ интенсивные рапопроявления при бурении происходили в скважинах № 3-КОВ, 18-КОВ, 26-КОВ, 52-КОВ, 60-К0В, 61-КОВ,

64-КОВ, 72-КОВ. На соседней Грузновской площади они происходили в скважинах № 1 и 134, на Жарковской площади - в скважине № 133, в скважинах Южно-Ковыктинской площади. При этом во многих скважинах было зафиксировано чередование поглощений и фонтанирующих притоков по разрезу соленосной формации. Так, в скважине № 60 при бурении на газожидкостные смеси переливы, выбросы и газопроявления чередовались с поглощениями. В скважине № 3-КОВ ниже бильчирского горизонта было встречено поглощение интенсивностью 2-5 м³/ч в атовском горизонте.

4 Заключение (Conclusions)

«Газпром» получил лицензию на разработку Ковыктинского месторождения в 2011 году. В настоящее время месторождение находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации. Ведутся геологоразведочные работы, проводятся исследования добычных возможностей имеющегося фонда эксплуатационных скважин, а также испытания мембранной технологии извлечения гелия в промысловых условиях.

В середине июня 2007 года «Газпром» и «ТНК-ВР» достигли соглашения, в соответствии с которым предполагалось, что российско-британская компания продаст газовой монополии всю долю в «РУСИА Петролеум» и Восточно-Сибирской газовой компании; цена сделки ориентировочно оценивалась в \$600-900 млн.[3]. Данная сделка, однако, не была совершена [2].

В июне 2010 года ТНК-ВР подала в суд иск о банкротстве «РУСИА Петролеум». В итоге в марте 2011 года состоялся аукцион, на котором «РУСИА Петролеум» было куплено «Газпромом» за 22,3 млрд руб. (770 млн долл.).[2] Таким образом «Газпром» получил лицензию на разработку Ковыктинского месторождения. В настоящее время месторождение находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации. Ведутся геологоразведочные работы, проводятся исследования имеющегося фонда эксплуатационных скважин, а также испытания мембранной технологии извлечения гелия в промысловых условиях [1].

В 2020 году Газпром намерен удвоить количество испытательных скважин на месторождении (подрядчик - Газпром бурение). Первые поставки

газа с месторождения планируется начать в 2023 году [4].

Список литературы (References):

1. В.Р. Акчурин, А.Р. Башаров, Е.В. Добрынин Газовая промышленность Спецвыпуск № 1 (782) Новые технологии и оборудование ковыктинское ГКМ - опытный полигон для испытания мембранных технологий извлечения гелия
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kovyktinskoe-gkm-opytnyy-poligon-dlya-ispytaniya-membrannyh-tehnologiy-izvlecheniya-geliya> Режим доступа: свободный
2. А.И. Ильин, А.Г. Вахромеев, С. А. Сверкунов, А.В. Поспеев, И.В. Горлов Пути прогноза горно-геологических условий бурения на ковыктинском газоконденсатном месторождении URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-prognoza-gorno-geologicheskikh-usloviy-bureniya-na-kovyktinskom-gazokondensatnom-mestorozhdenii>
3. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа / Д.Л. Катц, Д. Корнелл, Р. Кобаяши, Ф.Х. Поеттманн, Дж. А. Вери, Дж. Еленбаас, Ч.Ф. Уайнауг. – М.: Недра, 1965. – 531 с.
4. Ковыктинское месторождение. Официальный сайт «Газпром». Дата обращения: 9 сентября 2022. URL: <https://www.gazprom.ru/projects/kovyktinskoye/>