

УДК 550.8 + 622.24

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА И ПРОГНОЗА УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ
ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА ПРИМЕРЕ
КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF NON-STATIONARY
ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS FOR STUDYING
THE UPPER PART OF THE SECTION AND FORECASTING
THE CONDITIONS FOR DRILLING PROSPECTING
AND EXPLORATION WELLS USING THE EXAMPLE
OF THE KOVYKTINSKOYE GAS AND CONDENSATE FIELD**

Молчанов Сергей Александрович

студент-магистрант,
Институт Нефти, газа и энергетики
Кубанский государственный
технологический университет
advacaaat@yandex.ru

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. В работе показан опыт применения нестационарных электромагнитных зондирований для изучения верхней части разреза и прогноза условий бурения поисково-разведочных скважин на примере Ковыктинского газоконденсатного месторождения (КГКМ). Рассмотрены горно-геологические условия бурения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении (характеристика скважин на центральном блоке КГКМ; характеристика разреза КГКМ по данным бурения и ГИС; гидрогеологическая характеристика центрального блока КГКМ; структурно-геологическая характеристика зон осложнений; результаты по данным зондирования методом становлением поля). Описаны горно-геологические условия бурения рапопроявляющих зон с аномально высоким пластовым давлением в природных резервуарах кембрия на Ковыктинском газоконденсатном месторождении (исследование горно-геологических условий с использованием геофизических методов; геологическое строение зон АК-АВПД; геологическое описание зон срывов; причины геологической обусловленности возникновения осложнений при бурении скважин в карбонатно-галогенной формации; зоны осложнений при бурении). Проведен анализ применения мало-глубинных зондирований ЗСБ для прогноза условий бурения поисково-разведочных скважин на примере Ковыктинского газоконденсатного месторождения.

Molchanov Sergey Aleksandrovich

Masters' student,
Institute of Oil, Gas and Energy
Kuban state technological university
advacaaat@yandex.ru

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of technical Sciences,
Professor of oil and gas
engineering department
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university

Annotation. The paper shows the experience of using non-stationary electromagnetic soundings to study the upper part of the section and the forecast of drilling conditions for prospecting and exploration wells using the Kovyktinskoye gas and condensate field as an example. The mining and geological conditions of drilling at the Kovyktinskoye gas and condensate field (the characteristics of the wells at the central block of Kovyktinskoye gas and condensate field, the characterization of the Kovyktinskoye gas and condensate field section based on drilling data and well logging, the hydrogeological characteristics of the central block of Kovyktinskoye gas and condensate field, the structural and geological characteristics of the complication zones, the results for data of sounding by the method of field formation). Mining-geological conditions for drilling brine-developing zones with abnormally high reservoir pressure in natural Cambrian reservoirs at the Kovyktinskoye gas and condensate field are described (exploration of mining and geological conditions using geophysical methods, geological structure of anomalous reservoir pressure – abnormally high reservoir pressure zones, geological description of zones of disruption; reasons for the geological conditionality of the occurrence of complications when drilling wells in the carbonate-halogen formation, zones of complications during drilling). The analysis of the application of shallow sounding of the ZSB for the forecast of drilling conditions for prospecting and exploratory wells is carried out on the example of the Kovyktinskoye gas and condensate field is carried out.

Ключевые слова: горно-геологические условия бурения; характеристика разреза месторождения по данным бурения и ГИС; гидрогеологическая характеристика месторождения; структурно-геологическая характеристика зон осложнений; результаты по данным зондирования методом становления поля; рапопроявляющие зоны с аномально высоким пластовым давлением; исследование горно-геологических условий с использованием геофизических методов.

Keywords: mining and geological conditions of drilling; characterization of the deposit section based on drilling data and well logging; hydrogeological characteristics of the deposit; structural and geological characteristics of the zones of complications; the results from the sounding of the field formation method; brine-developing zones with abnormally high reservoir pressure; study of mining and geological conditions using geophysical methods.

Введение

Горно-геологические условия бурения глубоких скважин на нефть и газ на территории юга Сибирской платформы отличаются высокой сложностью проектирования и строительства. Осложняющим фактором является наличие в карбонатно-галогенной толще кембрия пластов-коллекторов, проявляющихся поглощениями бурового раствора либо фонтанными притоками пластового флюида, связанными с аномально высоким пластовым давлением.

Ковыктинское газоконденсатное месторождение является одним из эталонных объектов юга Сибирской платформы, задача проводки и проектирования глубоких скважин на нем входит в производственный план. Оценка горно-геологических условий бурения проектных скважин возможна с помощью комплексирования геофизических методов и составления прогнозных карт с указанием возможных зон осложнений.

Условия бурения глубоких скважин на территории юга Сибирской платформы оцениваются как «сложные» ввиду присутствия в средней части разреза осадочного чехла в карбонатно-галогенной толще кембрия пластов коллекторов, которые могут характеризоваться либо поглощениями бурового раствора, либо аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД) флюидов. При проходке бурением зоны АВПД высока вероятность возникновения аварийной ситуации – от повреждения бурильной колонны, буровой установки до потери скважины.

Высоконапорные пласты (зоны) юга Сибирской платформы содержат предельно насыщенные рассолы с концентрацией солей более 600 г/л и плотностью до 1,45 г/см³, нередко с газом, что существенно осложняет процесс их вскрытия. Задokumentированы дебиты нефти до 1000 м³/сут., газа – до 1 млн м³/сут., слабых рассолов – до 30000 м³/сут., концентрированных рассолов-рапы – до 7,5 тыс. м³/сут. При поступлении рассола из пласта в ствол скважины полное замещение бурового раствора на рапу происходит в первые 30–40 минут; двухвалентные катионы (Ca, Mg) провоцируют коагуляцию бурового раствора; начинается процесс обвального выпадения солей. Заращение внутреннего сечения скважины может привести к полной потере подвижности бурильного инструмента, а в дальнейшем – к потере скважины. Устьевые давления при закрытом противовыбросовом оборудовании (ПВО) достигают 16,5–18,5 МПа. Ковыктинское газоконденсатное месторождение – один из ярких объектов такого типа. Большое количество скважин, вскрывших высоконапорные рапопроявляющие пласты (зоны), не добурено до целевых газоносных отложений терригенного венда вследствие недоучета горно-геологических условий. Основными причинами ликвидации скважин являются открытые высокодебитные фонтаны, прихваты бурильного инструмента, смятие обсадных колонн в процессе испытания и т.д.

По данным бурения разведочных скважин установлено, что рапопроявляющие зоны локализованы в межсолевых карбонатных пластах-коллекторах, субгоризонтальны и характеризуются трещинным и карстово-жильным типами аномально-гидропродоводных коллекторов (АК).

Значения АВПД во флюидной системе карбонатов кембрия – до 2,35–2,65. Использование данных комплексных геофизических методов, а также опыта бурения предыдущих скважин позволяет во многих случаях значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций. Учет горно-геологических условий должен лежать в основе как проектных решений, так и рабочих регламентов по безаварийному ведению буровых работ.

Горно-геологические условия 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 год 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 над-солевом 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-КОВ, 61-КОВ, 64-КОВ и 72-КОВ. На соседней Грузновской площади они происходили в скважинах №№ 1 и 134, на Жарковской площади – в скважине № 133, а также 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 рапопроявляющего бильчирского горизонта было встречено поглощение интенсивностью 2–5 м³/ч в атовском горизонте.

Характеристика скважин на центральном блоке Ковыктинского газоконденсатного месторождения

В центральной, наиболее продуктивной и освоенной части месторождения пробурены 7 эксплуатационных и более 20 поисково-разведочных скважин. В центральной части месторождения было пробурено несколько скважин, вскрывших рассолонасыщенный коллектор, с аномально высоким пластовым давлением на разных стратиграфических уровнях в интервале галогенно-карбонатного комплекса (скважины №№ 3-КОВ, 18-КОВ и 72-КОВ). Остальными скважинами в процессе бурения были вскрыты интервалы поглощений бурового раствора на различных уровнях. Трудность оценки геологических границ распространения зоны АВПД заключается в сложном характере их размещения по площади месторождения, при вскрытии бурением отмечается чередование как интенсивных рапопроявлений, так и поглощений бурового раствора.

Скважинами вскрыт обычный для юга Сибирской платформы разрез. Подробное изучение геологического разреза осложняется недостатком геолого-геофизической информации: отсутствием кернового материала, испытаний и опробований коллекторов (кроме парфеновского), а также полного комплекса ГИС по большинству старых скважин. Изучение горизонтов-коллекторов в представленной выборке скважин осуществлено только по данным ГИС. Исключением является бильчирский и биркинский горизонты, которые проявили себя притоками пластового флюида в скважинах №№ 3-КОВ, 18-КОВ и 72-КОВ.

В скважине № 3-КОВ с глубин 1330–1338 м отмечен самоизлив рассола дебитом до 86–110 м³/сут. и плотностью 1,28 г/см³. Давление на устье составило 7,8 МПа, расчетное пластовое давление – 24,69 МПа. В результате участок проявления пришлось изолировать посредством обсадной колонны и цементации. При дальнейшем прохождении скважины были получены фонтанные притоки рассолов с АВПД, которые были приурочены к балыхтинскому и осинскому горизонтам.

Выход обильно газированного бурового раствора зафиксирован в нижнеангарской подсвите (бильчирский горизонт) из интервала 1146–1164 м скважины № 18-КОВ. В скважине № 18-КОВ приток разгазированной рапы получен при вскрытии христофоровского горизонта в интервале 1960–1971 м. В кровельной части усольской свиты (1996–2001 м) был получен приток рапы из балыхтинского горизонта с АВПД 46 МПа ($K_{ан} = 2,3$) и дебитом 7,3 м³/ч (173 м³/сут.). Самое интенсивное рассолопроявление с дебитом около 5000 м³/сут. началось с глубины 2076 м при вскрытии бурением межсолевой трещинно-жильной зоны в карбонатах толщиной не более 2 м с аномальными параметрами по пластовому давлению (47 МПа).

В результате проявления АВПД можно разделить на два вида: с постепенно увеличивающим дебитом (скважина № 3-КОВ) и с аварийным выбросом и далее переливом рассола стабильным дебитом (скважина № 18-КОВ). Это говорит о том, что в аномальном коллекторе (АК) флюидная система представлена рапой с газовой шапкой.

Одним из главнейших факторов, определяющих характер существования в природе подземных гидродинамических систем, является пластовое давление – это давление флюида в пластах-коллекторах, находящихся в условиях естественного залегания. Гидродинамический режим флюидонапорных систем в разрезе Ковыктинского месторождения обусловлен многими геологическими и гидрогеологическими факторами. Основными из них являются:

- гидростатический напор;
- геостатическое давление на каркас коллектора и флюидоносные горизонты от вышележащих толщ горных пород;
- степень гидродинамической изолированности водоносных горизонтов;
- фильтрационные свойства пород флюидоносных и флюидоупорных горизонтов.

Пластовые давления флюидных систем, сформированные под воздействием перечисленных факторов, изменяются на месторождении в широких пределах – от аномально низких до аномально высоких. Для оценки распределения значений пластовых давлений по разрезу проведены расчеты для поглощающих и приточных объектов, вскрытых скважинами. Основой расчетов послужили данные о глубине, плотности промывочной жидкости, статические уровни в скважинах, плотности пластового флюида и измеренные величины пластового давления.

Характеристика разреза центрального блока Ковыктинского ГКМ по данным бурения и ГИС

Геологический разрез центрального блока Ковыктинского ГКМ до проектного горизонта вскрыт тремя скважинами №№ 21-КОВ, 3-КОВ и 53-КОВ. Скважины №№ 18-КОВ и 72-КОВ были остановлены в интервале галогенно-карбонатных отложений кембрия из-за невозможности продолжить бурение. По данным бурения скважин наблюдается изменение мощности литвинцевской, ангарской и бельской соленосных свит. Все скважины пробурены с осложнениями в виде поглощений и притоков пластовых флюидов с АВПД (рис. 1).

Скважинами вскрыты отложения от ордовика до ушаковской свиты рифея. Отложения фундамента данными скважинами на центральном блоке Ковыктинского ГКМ не вскрыты. Отложения среднего отдела ордовика вскрыты скважиной № 21-КОВ.

Отложения верхнего отдела кембрия (верхоленская и илгинская свиты) представлены чередующимися между собой пластами песчаников, алевролитов, аргиллитов, редкими прослоями известняков, доломитов и мергелей, редкими прослойками и включениями гипса.

Нижний и средний отделы кембрия представлены галогенно-карбонатными отложениями литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит.

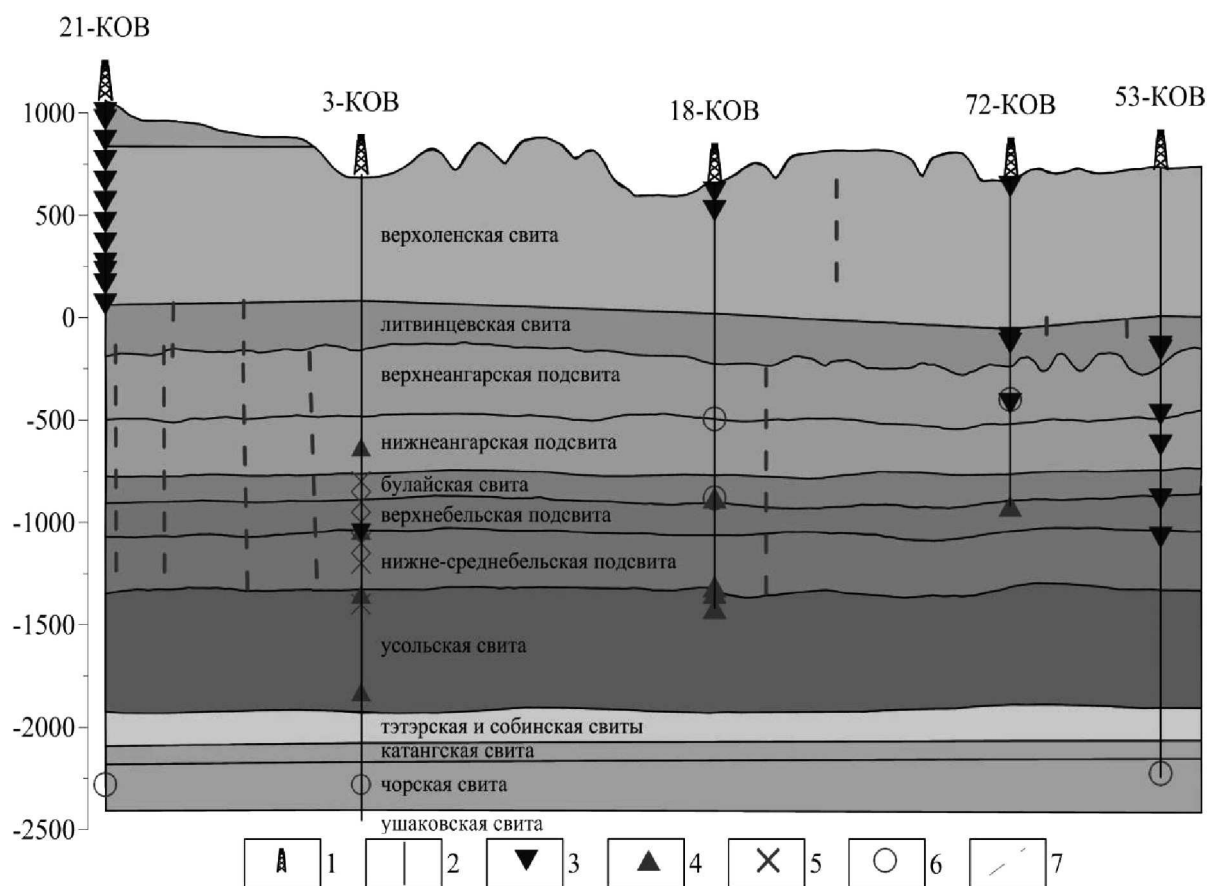


Рисунок 1 – Разрез центрального блока Ковыктинского ГКМ по данным бурения скважин и сейсморазведки:
 1 – скважина; 2 – ствол скважины; 3 – поглощение бурового раствора;
 4 – приток рапы с АВГД; 5 – смятие обсадной колонны; 6 – приток газа;
 7 – тектонические нарушения, выделенные по данным сейсморазведки

Литвинцевская свита (Є1 lt). В нижней части литвинцевской свиты преобладают доломиты массивные, иногда кавернозные, с подчиненными прослоями каменных солей, глинистых доломитов, ангидритов, ангидрито-доломитов. Здесь выделяется келорский горизонт толщиной около 50-60 м. Верхняя часть свиты представляет собой толщу ангидритов, каменных солей, доломитов, с подчиненными прослоями известняков, глинистых доломитов и кварцевых карбонатных песчаников. Келорский горизонт, проявивший себя интенсивными поглощениями от 4 м³/ч до полного, распространен практически на всей территории месторождения.

Ангарская свита (Є1 an). Ангарская свита сложена соленосно-карбонатными отложениями – доломитами, известняками, каменной солью с прослоями ангидритов, доломито-ангидритов, аргиллитов, галопелитов (рис. 2). В верхней части нижнеангарской подсвиты выделяется бильчирский горизонт, состоящий из четырех пластов массивных доломитов известковистых, редко известняков, ангидрито-доломитов, разделенных прослоями каменных солей. Общая толщина горизонта – 138–157 м. Бильчирский горизонт состоит из четырех пластов (Б1-Б2-Б3-Б4), которые разделены пластами соли. Горизонт проявил себя поглощениями от 1 до 30–40 м³/ч, в ряде скважин – до полного, и притоками газа и пластовой воды. Пласты бильчирского горизонта по простиранию разобщены на отдельные блоки с различными пластовыми давлениями, поэтому одни скважины дают выбросы и самоизливы флюидов (газ, рапа), другие поглощают.

Булайская свита (Є1 bl). Сложена доломитами мелкокристаллическими, массивными, плотными. В нижней части отмечаются прослои доломито-ангидритов, глинистых доломитов, песчаников. Булайская свита по региональным представлениям делится на две подсвиты. Нижняя подсвита представлена глинисто-ангидрито-доломитовыми породами. Верхняя подсвита сложена однородными доломитами и известняками. Мощность булайской свиты в среднем составляет 150 м.

В средней части свиты выделяется горизонт-коллектор, из которого получен приток газа в скважине № 18-КОВ. Коллектором является пласт доломитов, заключенный между двумя пластами аргиллитов. Биркинский горизонт проявил себя поглощениями, притоками газа, газа с водой и рапы.

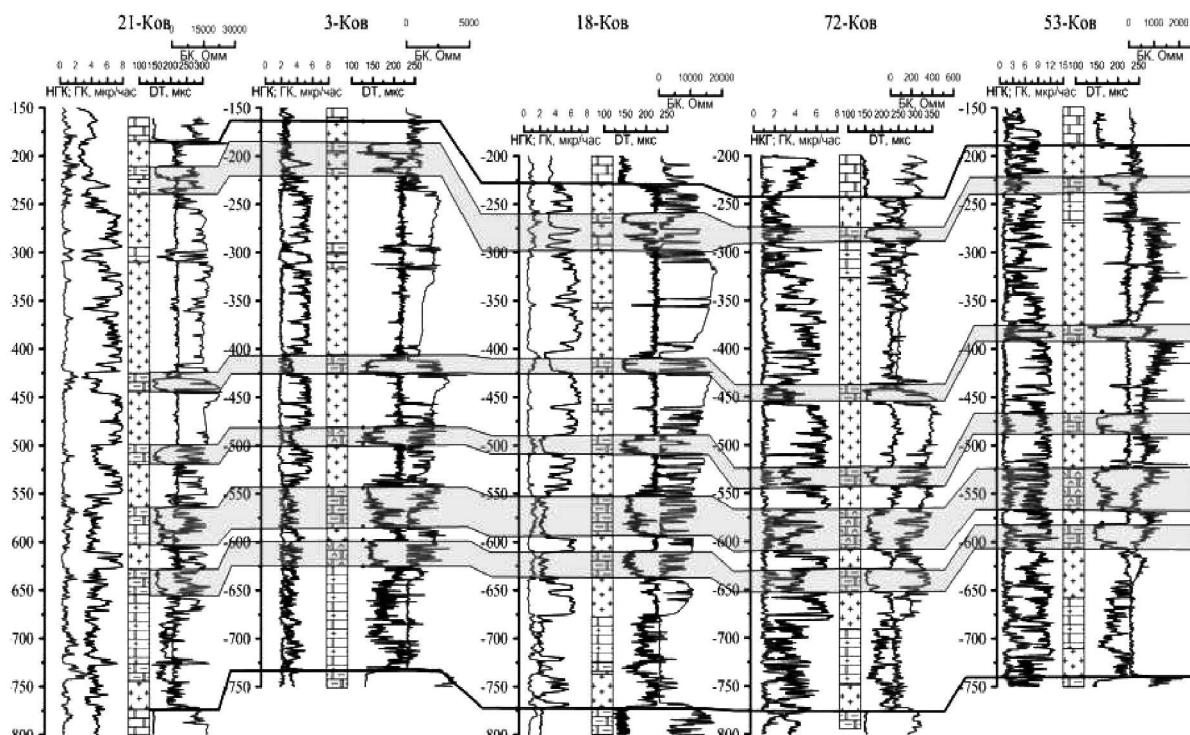


Рисунок 2 – Корреляция разреза ангарской свиты

с выделением карбонатных пластов (Б1–Б4) бильчирского горизонта по данным ГИС:

ГК – гамма-каротаж; НГК – нейтронный гамма-каротаж; ДТ – акустический каротаж; БК – боковой каротаж

Бельская свита (Є1 bs). Отложения бельской свиты залегают согласно на породах усольской. По литологическим признакам свита подразделяется на три подсвиты: нижнюю, среднюю и верхнюю. Ввиду однородности состава нижняя и средняя подсвиты объединены. Верхняя подсвита представлена переслаиванием каменных солей с доломитами, известняками, реже глинистыми доломитами. Нижне-среднебельская подсвита представлена известняками, доломитизированными известняками, доломитами, местами кавернозными с включениями гипса и ангидрита. В нижней части встречаются тонкие прослои каменной соли. В кровле выделяется атовский горизонт, состоящий из трещиноватых и кавернозных доломитов и известняков, мощностью 58–65 м. При его вскрытии происходило поглощение бурового раствора. К подошве подсвиты приурочен христофоровский горизонт доломитов с прослоями известняков, доломито-ангидритов и глинистых доломитов. Толщина горизонта – 57–64 м.

Христофоровский горизонт выделяется в подошвенной части бельской свиты, а балыхтинский – в кровельной части усольской свиты. Отсутствие на месторождении надежной изолирующей соленосной перемычки между этими горизонтами позволяет рассматривать их в качестве единого христофоровско-балыхтинского резервуара. Из этого резервуара из скважин №№ 18-КОВ, 52-КОВ, 60-КОВ, 61-КОВ и 64-КОВ получены мощные фонтаны рапы с минерализацией до 500–600 г/л при плотности до 1,40–1,42 г/см³ с АВПД. Вместе с рапой из скважин №№ 52-КОВ и 64-КОВ поступал газ.

Усольская свита (Є1 us). Свита представлена переслаиванием каменных солей, доломитов, известняков, глинистых доломитов, доломито-ангидритов. В низах свиты выделяется осинский пласт доломитов, известняков и доломитизированных известняков мощностью 45–56 м. В кровельной части разреза свиты выделяется балыхтинский горизонт, сложенный трещиноватыми доломитами с прослоями глинистых доломито-ангидритов. Толщина горизонта – 17–20 м. Толщина усольской свиты в районе изменяется от 446 до 623 м за счет пластичных деформаций солей.

Гидрогеологическая характеристика центрального блока Ковыктинского ГКМ

Верхняя часть разреза до верхоленской свиты включительно относится к над-солевой формации. Интервал от литвинцевской свиты до балыхтинского горизонта включительно – к соленосной формации. Центральная часть усольской свиты (наиболее соленасыщенная) между балыхтинским и осинским горизонтами выделяется в качестве усольского регионального водоупора, а осинский горизонт и все нижележащие отложения с корой выветривания фундамента отнесены к подсолевой гидрогеологической формации.

Надсолевая формация является зоной активного водообмена. По данным бурения скважин вода в ней пресная (минерализация – менее 1 г/л). В ней выделяется три водоносных комплекса: современных четвертичных образований, ордовикский и илгинско-верхоленский. Водоносный комплекс современных четвертичных образований содержит верховодку и грунтовые пресные воды, приуроченные к пластам аллювиально-делювиальных отложений.

Соленосная формация включает в себя интервалы литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и верхи усольской свит. Пресные воды вниз по разрезу быстро засоляются, метаморфизируются и превращаются сначала в хлоридные натриевые соленые воды и рассолы выщелачивания соли, затем – в хлоридные кальциевые и магниевые-кальциевые рассолы с предельно высокой минерализацией до 350–600 г/л и выше. Литвинцевская свита содержит несколько водоносных пластов, представленных трещиноватыми и кавернозными карбонатными породами. Они имеют между собой гидродинамическую связь и поэтому условно объединяются в единый келорский водоносный горизонт. Ангарская свита включает в себя два водоносных горизонта – ковыктинский и бильчирский, булайская – биркинский горизонт. Статистические уровни – от 800 до 2700 м. Бельская свита, включая кровлю усольской свиты, содержит три горизонта – атовский, христофоровский и балыхтинский. Статические уровни могут достигать 3500 м.

Структурно-геологическая характеристика зон осложнений

Установлено, что АВПД, вызывающие интенсивные рапопроявления, приурочены к межсолевым изолированным карбонатным коллекторам и обусловлены главным образом геостатической нагрузкой. Важнейший аспект в формировании улучшенных карбонатных коллекторов – изменение знака, смена напряжений от сжимающих, сформировавших соляные структуры типа Жигаловского вала, до растягивающих, раздвигающих. Максимальное развитие трещин установлено в приосевых частях пликативных структур и в более крутых перегибах их крыльев (Жигаловский, Боханский, Марковский валы), т.е. на участках повышенных тектонических напряжений.

Вероятно, зоны трещиноватости могут служить индикаторами по отношению к зонам распространения вторичных улучшенных коллекторов. Независимо от знаков тектонических движений в течение геологического времени рассматриваемые гидрогеологические структуры с коллектором карстового генезиса должны иметь следующие особенности:

- должны быть захоронены (запечатаны) сохранившимися пластами солей либо кепроковыми шляпами;
- должны быть отрицательными по знаку – воронки, прогибы, мульды, синклинальные брахиформные складки, сопряженные с аллохтонными антиклиналями; карбонатный массив занимает как в палео-, так и в современной геологической структуре отрицательную пликативную структурную форму;
- должны занимать гипсометрически нижние зоны на границах фациального замещения (выклинивания) – в противоположность положительному знаку, т.е. приподнятому положению резервуаров или их частей, благоприятному для сохранения углеводородных залежей;
- закарстованные массивы и переработанные в процессе карста карбонаты должны иметь ослабленный скелет породы.

Последняя особенность означает, что через него на флюид должна передаваться часть горного давления. При этом пластовые флюиды, насыщающие эти резервуары, могут быть под давлением выше пластового, но ниже горного. Это явление характеризует прочность скелета породы и не является в данном случае признаком, по которому можно судить о размерах структуры с АВПД, т.е. о ее локальности. Гигантский по размерам в плане закарстованный карбонатный массив может быть обнаружен гидрогеологическим бурением равновероятно с локальной воронкой или линейной зоной трещиноватости.

Примечательно, что коллекторы с АВПД не всегда связаны с известными рас-солоносными горизонтами. Это тонкие пропластки трещиноватых разрушенных доломитов, которые на смежных площадях не являются коллектором. Исследователями (Анциферов А.С., Вахромеев А.Г. и др.) отмечена закономерность: при близком значении альтитуды скважины аномальный коллектор встречен на одних и тех же глубинах. Представляется, что при близких параметрах коэффициента аномальности разные скважины вскрывают реально существующую в геологическом разрезе разломную плоскость, подобную тонкой субгоризонтальной пластине с толщиной от десятков сантиметров до одного-двух метров или зону трещиноватости по напластованию, межпластовых срывов. Типичным примером могут служить скважины №№ 18-КОВ, 52-КОВ и 64-КОВ. Установлено, что в районе глубоких скважин, вскрывших зоны АК – АВПД в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы, наблюдается повышенная дислоцированность разреза, описанная в опубликованной литературе как «соляная тектоника». В общем виде этот термин предполагает те или иные пликвативные дислокации пород галогенно-карбонатной толщи. Типичным для соленосной формации является развитие линейной дисгармоничной складчатости, генезис которой связывают с тангенциальными напряжениями и галокинезом.

Результаты по данным зондирования методом становлением поля в ближней зоне

Пласт-коллектор в карбонатно-галогенной толще представляет собой пласт из трещиноватых либо кавернозных доломитов. В качестве водоупоров выступают пласты каменной соли. Коллекторские свойства трещиноватых доломитов, как правило, весьма изменчивы ввиду деятельности тектонических процессов. В случае заполнения пор и каверн пласта-коллектора высокоминерализованными растворами его электрическое сопротивление существенно снижается, иногда на несколько порядков до единиц или долей Ом·м. Таким образом, по электрическим свойствам коллектор резко отличается от перекрывающих и подстилающих плотных пород либо пластов солей (сопротивление солей зачастую превышает 50 кОм·м).

В 2015 году с учетом новейших представлений об образовании и локализации зон АВПД была проведена переинтерпретация материалов зондирования методом становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) по методике тонкослоистых моделей с выделением бильчирского, биркинского, атовского, христофоровского + балыхтинского, осинского и парфеновского горизонтов-коллекторов. Глубинная привязка горизонтов-коллекторов была проведена по скважинам, межскважинная корреляция осуществлена по данным 2D-сейсморазведки. В ходе инверсии кривых ЗСБ определялось сопротивление горизонтов-коллекторов, тогда как удельное электрическое сопротивление вмещающих пород закреплено как 800 Ом·м. По результатам инверсии получен тонкослоистый геоэлектрический разрез (рис. 3), а также карты продольной проводимости горизонтов-коллекторов.

Анализируя тонкослоистый геоэлектрический разрез, можно сделать ряд выводов.

Келорский горизонт распространен регионально и характеризуется преимущественно повышенными значениями проводимости от 0,5 до 7 См. В целом проявляется четкая закономерность для скважин, в которых зафиксированы поглощения, проводимость келорского горизонта превышает 3 См. Таким образом, повышение проводимости келорского горизонта указывает на наличие в нем коллектора, проявляющего себя в процессе бурения поглощениями бурового раствора.

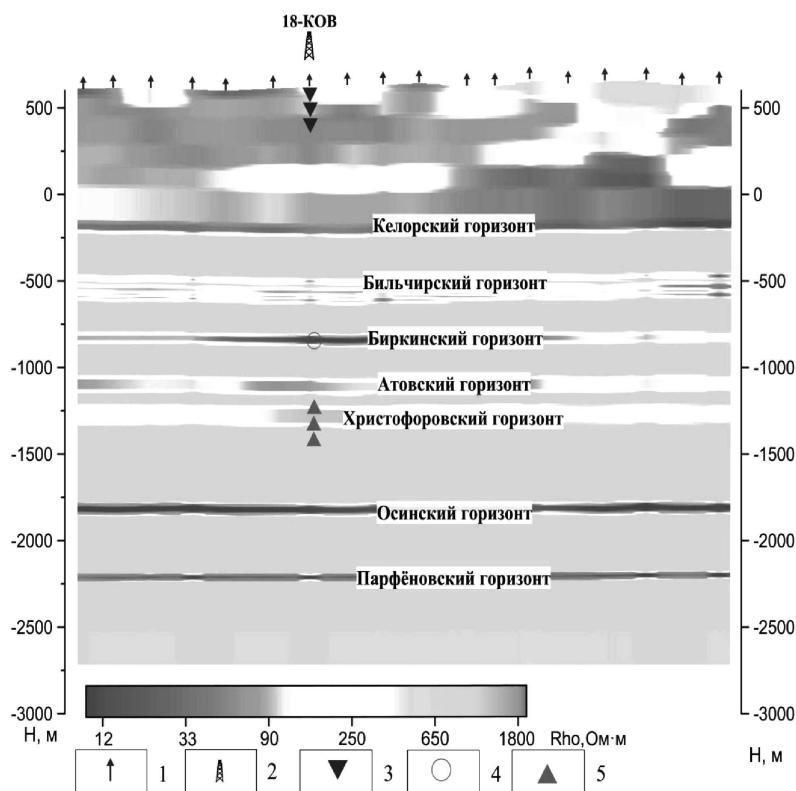


Рисунок 3 – Фрагмент тонкослоистого геоэлектрического разреза:
1 – точки ЗСБ; 2 – скважина; 3 – поглощение бурового раствора; 4 – приток газа; 5 – приток рапы с АВПД

Коллекторские свойства бильчирского горизонта (рис. 4) в отличие от келорского весьма изменчивы. Продольная проводимость горизонта изменяется в широких пределах от долей сименса до 7 См. В пределах исследуемого профиля имеют место четыре области повышенной проводимости бильчирского горизонта, скважины №№ 18-КОВ и 72-КОВ пробурены за их пределами. Скважина № 53-КОВ, в которой при бурении зафиксированы поглощения в бильчирском горизонте, находится на границе зоны повышенной проводимости.

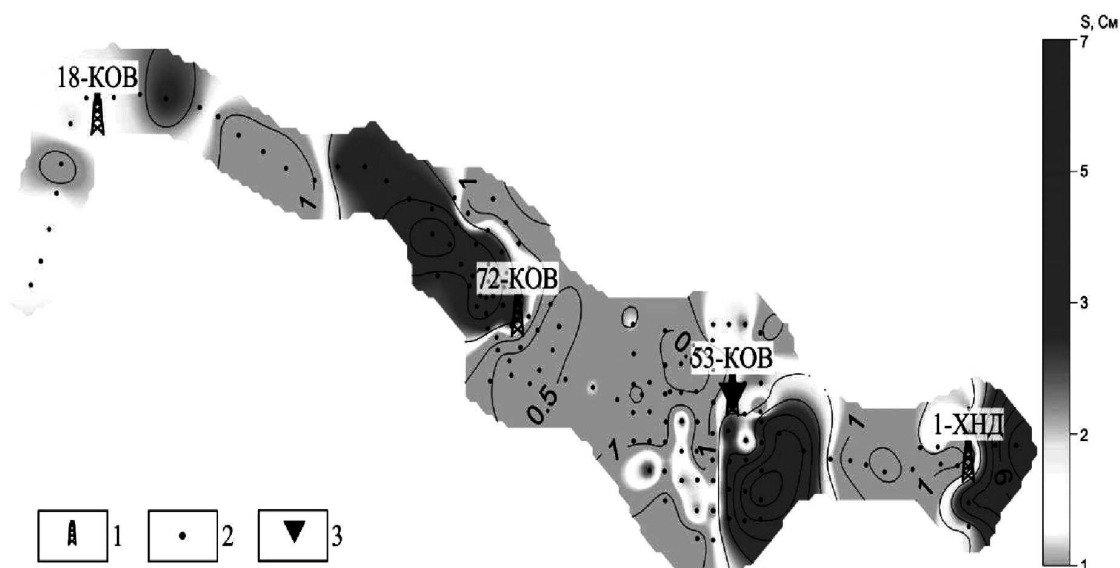


Рисунок 4 – Карта продольной проводимости биркинского горизонта:
1 – скважина; 2 – пункты ЗСБ; 3 – приток рапы с АВПД

Ниже по разрезу залегает биркинский горизонт, характеризующийся локальным распространением в нем коллектора (рис. 5). Скважина № 18-КОВ расположена в об-

ширной зоне повышенной проводимости биркинского горизонта до 5 См. В результате бурения из указанного интервала получены притоки газа дебитом 25 тыс. м³/сут., что подтверждает наличие коллектора. В районе скважины № 53-КОВ проводимость биркинского горизонта низкая, что указывает на отсутствие коллектора (в процессе бурения поглощений в данном интервале не зафиксировано). Скважина № 72-КОВ расположена в локальной линзе повышенной проводимости 0,5–1,0 См, что характеризует ограниченную зону развития карбонатного коллектора. В результате бурения в скважины № 72-КОВ из биркинского горизонта был получен фонтанный приток рапы дебитом около 4 тыс. м³/сут.



Рисунок 5 – Карта проводимости христофоровского горизонта:
1 – скважина; 2 – пункты ЗСБ; 3 – приток рапы с АВПД

Атовский горизонт характеризуется преимущественно пониженными значениями проводимости менее 1 См. Скважина № 53-КОВ, в которой зафиксированы поглощения интенсивностью до 48 м³/сут., локальной линзе повышенной проводимости 0,5–1,0 См, что характеризует ограниченную зону развития карбонатного коллектора. В результате бурения в скважины № 72-КОВ из биркинского горизонта был получен фонтанный приток рапы дебитом около 4 тыс. м³/сут.

Скважина № 18-КОВ расположена в обширной зоне улучшенных коллекторских свойств горизонта (проводимость достигает 1,1 См). Область повышенной проводимости с юго-запада и востока ограничена зонами пониженной проводимости (менее 0,5 См), что может объясняться сменой литологии горизонта. По результатам бурения в скважине № 18-КОВ из христофоровско-балыхтинского резервуара получен фонтан рапы с АВПД дебитом 4,8 тыс. м³/сут., и это подтверждает наличие зоны развития коллектора по ЗСБ.

Осинский горизонт характеризуется преимущественно повышенной проводимостью до 12 См. В процессе бурения рассматриваемых скважин не были отмечены ни поглощения, ни АВПД.

Горно-геологические условия бурения рапопроявляющих зон с аномально высоким пластовым давлением в природных резервуарах кембрия на Ковыктинском газоконденсатном месторождении

Вскрытие бурением высокодебитных зон с аномально гидропроводными карбонатными коллекторами в южных районах Сибирской платформы многие десятилетия остается серьезной технологической проблемой. Осложнения бурового цикла и даже аварийные ситуации, обусловленные вскрытием скважинами аномальных коллекторов (АК) и аномальными пластовыми давлениями флюидов (АВПД), возникали на скважинах № 3, 18, 52, 72, 60, 61 и 64 Ковыктинских, № 3, 5 и 6 Южно-Ковыктинских, № 13 Омолойской, №№ 2 и 3 Балаганкиных, №№ 131 и 100 Верхоленских, № 176 Рудовской, № 2 Карахунской, № 1 Тутурской, №№ 3 и 3А Знаменских и др.

Фонтан сероводородного рассола с дебитом $700 \text{ м}^3/\text{сут.}$ получен с глубины 2086 м в скважине № 131 Верхоленской в 1983 году, причем полностью вся колонна бурильных труб была выдавлена из скважины. Недалеко от пос. Жигалово из скважины № 176 Рудовской из средней части усольской свиты получен аварийный фонтан рассола дебитом $3000 \text{ м}^3/\text{сут.}$, концентрация сероводорода в рапе составила 6–10 ПДК (1989 год). Фонтан оперативно ликвидирован силами специализированной противofонтанной части Госгортехнадзора.

На скважине № 13 Омолойской в процессе бурения усольской свиты кембрия зафиксирован аварийный выброс рапы из балыхтинского горизонта, дебит фонтанирования составил $7600 \text{ м}^3/\text{сут.}$ (1969 год). На двух глубоких скважинах №№ 2 и 3 Балаганкинской площади получены фонтанные притоки сероводородных рассолов с дебитами 360 и $1080 \text{ м}^3/\text{сут.}$, замерено пластовое давление Рпл 36 МПа (1984 год). Авария на скважине № 3 была ликвидирована через месяц, а скважина № 2 фонтанировала более года. На Знаменской площади в скважине № 3Р в средней части усольской свиты (глубина 1818 м) был неожиданно вскрыт рапопроявляющий пласт с АВПД, $P_{пл}$ составило около 43 МПа (1986 год). Дебит фонтанирования достигал $7000 \text{ м}^3/\text{сут.}$, затем после нескольких цементажей «в лоб» снизился до $1500 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Рапопроявление ликвидировано только через два месяца спуском обсадной колонны, однако смятие колонны на глубине около 1630 м осложнило испытание боханского пласта песчаников (2930 м) с газовым насыщением.

Наибольшее количество осложнений и аварий подобного рода задокументировано на скважинах разведочного бурения Ковыктинского газоконденсатного месторождения №№ 3, 18, 52, 60, 61, 64 и 72, Чиканского ГКМ №№ 3, 5 и 22. На скважине № 3 Ковыктинской с глубины 1308 м из ангарской свиты получен фонтанный приток рассола с удельным весом $1,30 \text{ г/см}^3$. В первом случае зафиксирован дебит до $110 \text{ м}^3/\text{сут.}$, коэффициент аномальности Кан для бильчирского горизонта составил 1,89; на глубине 1308 м $P_{пл}$ расчетное составило 25,2 МПа. Рапопроявляющий интервал перекрыт обсадной колонной, неоднократными цементными заливками зона затампонирована. В процессе дальнейшего углубления скважины притоки рапы с АВПД были получены из балыхтинского и осинского горизонтов. В последующем зафиксировано смятие обсадной колонны. Ниже, в парфеновском горизонте, при опробовании в процессе бурения был получен промышленный приток природного газа. Скважина № 3 так и осталась аварийной, неоднократные ремонты колонны положительного успеха не дали.

Самое интенсивное рапопроявление на Ковыктинском ГКМ с дебитом около $5000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ (рис. 6) началось на скважине № 18 с глубины 2076 м (балыхтинский горизонт с $P_{пл} = 46 \text{ МПа}$), хотя начало проявления рапы отмечалось с христофоровского горизонта (интервал 1960–1971 м) (2018 год).



Рисунок 6 – При аварийном фонтанировании скважины ПВО закрыто, рапа с дебитом $5300 \text{ м}^3/\text{сут.}$ по выкидным линиям перепускается в аварийный амбар
Фото С.А. Молчанова, скважина № 18 Ковыктинская (2018 год)

Вскрытие высокодебитной зоны аномального коллектора жильного типа с АВПД, близким по значению к горному давлению, в процессе бурения разведочной скважины № 72 Ковыктинской в 2018 году стало неожиданным для бурового предприятия. Благодаря высокому профессиональному уровню инженеров и буровой бригады скважина была поставлена под контроль. Однако продолжить бурение в условиях АВПД и аномального дебита рапы не представлялось возможным.

Все аномальные по дебиту и пластовому давлению скважины с притоками рапы разделяются на две группы по дебитам рапопроявлений, расчетным параметрам пласта, по характеру восстановления давления. В скважинах одной группы величина пластового давления превышает расчетную гидростатическую в 1,3–2,3 раза. Параметр водопроницаемости достигает 1–10 м²/сут. Восстановление давления флюида на устье скважины при закрытии задвижки противовыбросового оборудования (ПВО) происходит в первые минуты, реже – за 1–2 часа. Скачок мгновенной механической скорости бурения, проседание компоновки низа бурильной колонны (КНБК) до 1–2 м свидетельствует о слабых физико-механических свойствах скелета карбонатных пород. Перекрытие проявляющего интервала обсадной колонной осложнено притоком рапы, поэтому качественно зацементировать заколонное пространство не удастся. В дальнейшем это не позволяет полноценно испытать целевые интервалы с УВ-насыщением.

Исследование горно-геологических условий с использованием геофизических методов

С 2015 года производятся работы над обоснованием прогнозно-поискового комплекса методов полевой геофизики, позволяющих картировать зоны повышенной водопроницаемости в галогенно-карбонатной толще нижнего кембрия. Такой прогноз является основой проектных решений.

В осадочном чехле юга Сибирской платформы выделяют под-, над-, и соленосный вещественный комплексы. В пределах Ковыктинского ГКМ и сопряженных территорий Байкало-Патомского надвигового пояса доказано двухъярусное строение разреза. Осадочные комплексы нижнего, подсоленосного яруса слагают незатронутый складчатостью автохтон. Соленосный и надсоленосный комплексы верхнего яруса слагают интенсивно дислоцированный аллохтон. Главный парагенезис структур представлен шарьяжами, взбросами, надвигами и линейными складками северо-восточного простирания – аллохтонными антиклиналями.

Согласно проведенным исследованиям, переобработке и комплексной переинтерпретации сейсморазведочных, электроразведочных, гравимагнитных и геопромысловых данных рассолонасыщенные зоны АК-АВПД, вскрытые бурением на Ковыктинском ГКМ как целевые гидрогеологические объекты, располагаются в специфических геологических и тектонических условиях. Южной и восточной границами области проявлений АВПД являются Жигаловский и Хандинский валы, западная граница обусловлена затуханием складчатости, имеющей преимущественно меридиональное направление и выраженной в породах карбонатно-галогенного комплекса. На север и юго-запад область проявления АВПД, вероятно, простирается за пределы Ковыктинского месторождения. Локальные зоны АК-АВПД достаточно четко проявляются в геофизических полях. Им соответствуют аномалии проводимости ангарской свиты и бельско-булайского комплекса (соответственно $S_{an} > 3$ См и $S_{bb} > 3,5$ См), полимодальность распределения проводимости комплексов, повышенные значения коэффициента аномальности по данным анализа резонансного затухания сейсмических волн, локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести интенсивностью до первых мГал.

Геологическое строение зон АК-АВПД

В плане рассматриваемые АК-АВПД зоны занимают значительные площади, некоторые из них вскрыты более чем одной глубокой скважиной (№№ 64-52-18-72 Ковыктинские и №№ 3 и 3А Знаменские).

Важной и определяющей особенностью геологического строения является структура переслаивания карбонатных и галитовых пород. Способность солей «залечивать» трещины здесь играет роль гидродинамического «изолятора», локализуя (ограничивая) по вертикали развитие активной трещиноватости карбонатными прослоя-

ми. Этим обусловлен «псевдопластовый» характер распределения АК в геологическом теле – в соленосной толще осадочных пород нижнего кембрия. Формирование зон АК-АВПД в верхнем ярусе – аллохтоне обусловлено соляным тектогенезом во внутреннем поле Жигаловского и Хандинского валов, как реакция на шарьяжнонадвиговую тектонику. Наблюдаются субпластовые и реже наклонные проницаемые трещинные коллекторы в карбонатных пластах галогенно-карбонатного комплекса кембрия. Геофильтрационная модель трактуется как пологопадающая рассолонасыщенная зона активной трещиноватости, переходящая по простиранию в зону межпластового срыва, и подтверждена результатами бурения двух стволов на скважине № 52 Ковыктинской.

Гидродинамическая закрытость коллекторских зон в этом случае приводит к близости давления порового флюида к литостатическому, т.е. к формированию АВПД. По Е.В. Пиннекеру высокодебитные рапопроявляющие объекты в глубоких скважинах юга Сибирской платформы отнесены к трещинно-порово-пластовому и трещинно-жильно-пластовому типам сложной гидрогеологической структуры. АВПД – явление, фиксируемое практически в каждом случае вскрытия «предельно насыщенных» рассолов, характеризует гидродинамические особенности флюидных систем, залежей рапы, распределенные в фильтрационной структуре резервуаров.

Геологическое описание зон срывов

Модель межпластовых срывов в процессе надвигообразования объясняет, почему в некоторых скважинах (№ 3 Знаменской и № 18 Ковыктинской) при вскрытии толщи пород усольской свиты нижнего кембрия, представленной относительно ритмичным чередованием тонких карбонатных прослоев с более мощными пачками каменной соли, возникает скачок пластового давления, наблюдается аномально проводящий высокодебитный коллектор. Например, анализ акустической кривой по скважине № 3 Знаменской показывает, что над осинским горизонтом разрез представлен чередованием тонких (около 3 м) пластов солей и доломитов. Традиционно выделяемые рассолоносные горизонты – балыхтинский в верхах и осинский в основании свиты – здесь равноудалены от интервала АК-АВПД.

Общепринято, что поровое давление никогда не может превысить горное, т.е. значения $K_{ан}$ могут изменяться от 0 до $P_{горн}/P_{гидрост.}$. Верхним пределом АВПД считают давление, создаваемое на данный пласт весом вышележащих пород. Если горное давление рассчитать через среднюю плотность пород, то для юга Сибирской платформы и Ковыктинского ГКМ получим 2,35–2,7 г/см³. Это соответствует значениям коэффициента аномальности пластового давления для интервалов АК-АВПД в разрезе галогенно-карбонатной формации (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка коэффициента аномальности пластового давления на Ковыктинском ГКМ

№№ скважин	Горизонт	Глубина кровли рапопроявления Н, м	Плотность рапы, г/см ³	Давление, атм.	Коэффициент аномальности
3	бильчирский	1330	1,28	249,75	1,88
18	христофоровский	1961	1,41	460	2,35
	балыхтинский	2000	1,42	470	2,35
52	христофоровский	1876	1,41	396	2,11
	балыхтинский	1929	1,42	404	2,09
60	христофоровский	1961	1,42	370	1,89
61	бильчирский-атовский	1220	> 1,70 ПЖ	> 207	> 1,70
64	балыхтинский	2100	1,25 ПЖ	472,5	2,25

Разрушение тонких пластов карбонатных пород при надвигообразовании и передача горного давления вышележащих пород на коллектор и флюидную систему – предполагается, что такая модель присуща Ковыктинскому ГКМ. Относительно небольшая (первые метры) мощность высокодебитных пластов или зон трещинно-жильного типа, вскрываемых глубокой скважиной, может рассматриваться как доказательство дизъюнктивного генезиса зон АК-АВПД. Мощные, кратно превышающие по

толщине отложения солей локализуют развитие активной трещиноватости в карбонатном коллекторе. То есть карбонатный пласт рассматривается как фильтрационно-емкостная система, в пустотном пространстве которой распределена флюидная, флюидодинамическая система с двумя параметрами аномальности – аномальное (пластовое) давление флюида и аномальный дебит.

Применительно к задачам глубокого бурения на УВ подчеркнем, что весьма крепкие и предельно насыщенные рассолы (рапа) содержатся практически во всех коллекторах соленосной и подсолевой гидрогеологических формаций. На Ковыктинском ГКМ и сопредельных площадях (Омолойская, Знаменская, Рудовская и др.) при закрытом ПВО давление на устье скважины составляет 16–19 МПа.

Причины геологической обусловленности возникновения осложнений при бурении скважин в карбонатно-галогенной формации

Существует две причины, связанные с геологическим строением карбонатно-галогенной формации в части осложнений в процессе бурения и испытания скважин:

1. Процессы смятия колонн происходят вследствие пластического течения солей. Таким образом, наружное избыточное давление на стенки обсадной колонны достигает по значениям горного.

2. Все процессы в системе «пласт – скважина», в том числе и рапопроявления, высокие пластовые давления и смятия колонн, возникают вследствие наличия в разрезе галогенно-карбонатной толщи, в природных трещинных резервуарах нижнего кембрия зон АВПД флюидов с давлениями, близкими к горному (рис. 7).

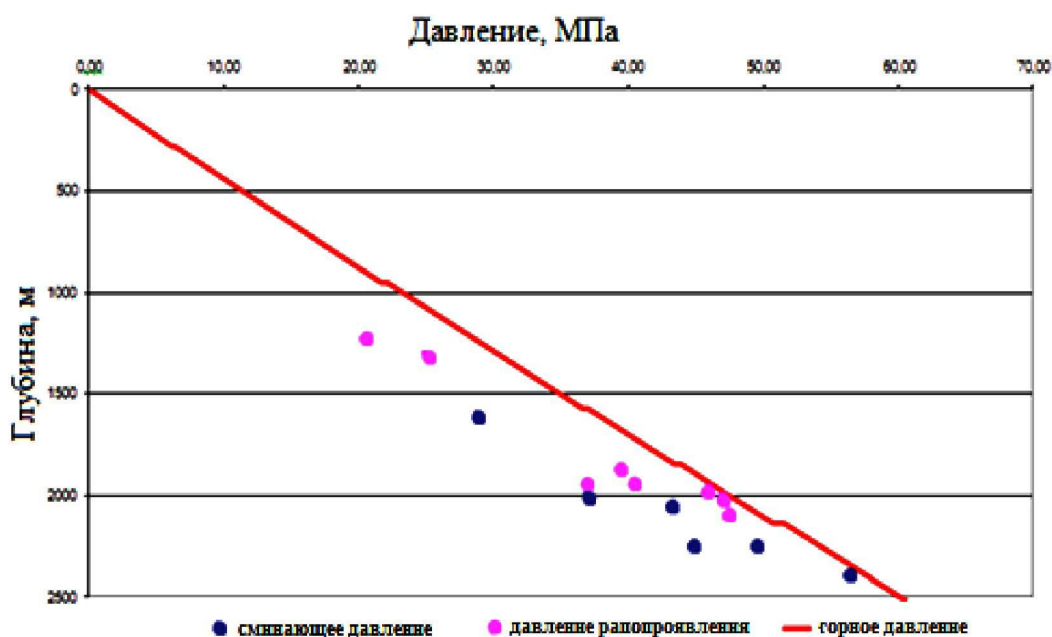


Рисунок 7 – Сопоставление давлений смятия колонн, рапопроявления и расчетного горного по плотности пород на Ковыктинском ГКМ

Аномальные по проницаемости пласты-коллекторы могут обладать весьма различными величинами проницаемости (от 1 до 300000 мД и более). Это прямо влияет в процессе вскрытия на первичные признаки определения такого пласта при бурении. Пласт с высокой проницаемостью сразу после вскрытия флюидной системы с АВПД при недостатке гидростатического давления в скважине начнет проявлять крепкий рассол в скважину, начнется ГНВП. При низкой проницаемости в цикле бурения данный пласт себя никак не проявит, но в процессе испытания (после снижения уровня в эксплуатационной колонне) аномально высокое пластовое давление, возможно, приведет к смятию колонны вне зависимости от параметров проницаемости рапопроявляющего пласта.

На рисунке 8 представлено сравнение прочностных характеристик обсадных колонн и наружного избыточного давления, рассчитанного по фактическим значениям на одной из пробуренных скважин, при испытании которой получили смятие колонны.

Здесь наглядно видно, что смятие колонны произошло в интервале труб с минимальной прочностью при максимальных для данных труб нагрузках. Смятие колонны в данном интервале было вполне предсказуемо.

В целях уточнения геологического строения разреза любой проектной скважины юга Сибирской платформы необходимо скоррелировать ее разрез с ранее пробуренными скважинами, а также сопоставить с прогнозными данными комплекса дистанционных геофизических методов по наличию проницаемых пластов. После выделения коллекторов в разрезе необходимо проанализировать барические условия в каждом из них – выполнить расчет коэффициент аномальности. Такой анализ позволит корректно обосновать и спроектировать конструкцию скважины, а также плотность буровых растворов. В данном случае наиболее сложными для бурения в разрезе являются зоны АК-АВПД.

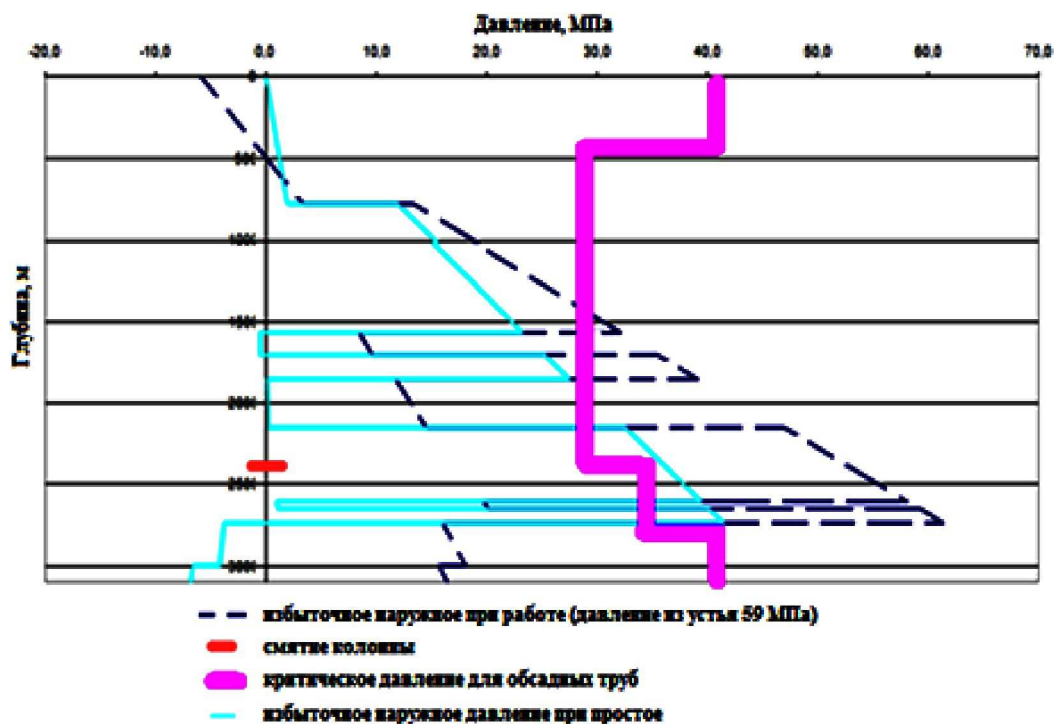


Рисунок 8 – Сравнение прочностных характеристик труб на смятие с наружным избыточным давлением (Ковыктинское ГКМ)

Все зоны АВПД в связи с шарьяжно-надвиговой тектоникой приурочены к осложненному, верхнему структурному ярусу галогенно-карбонатной толщи нижнего кембрия, горизонтам соленосной формации, а наиболее мощные по дебиту и пластовому давлению – к детачменту в интервале низов бельской и кровельной части усольской свит (христофоровский, балыхтинский резервуары). Однако в скважинах они начинали проявляться значительно раньше и с углублением только усиливались. В скважинах №№ 3, 18, 52 и 61 рапо- и газопроявления начались в нижнеангарской подсвите (в бильчирском горизонте), а в скважине № 60 – в келорском горизонте литвинцевской свиты.

Зоны осложнений при бурении

В общем случае конструкция скважин включала направление, кондуктор, одну или две промежуточных колонны, эксплуатационную колонну и на ряде скважин – хвостовик или открытый ствол в интервале продуктивного пласта. В ходе проведения работ по бурению поисковых и разведочных скважин на одном из месторождений юга Сибирской платформы применяемая конструкция скважин неоднократно пересматривалась.

На рисунке 9 построен график совмещенных давлений по исходным данным. Из него видно, что условия бурения являются крайне сложными и предъявляют дополнительные требования к проектированию конструкции скважины. График требует наличия двух технических колонн в скважине. При этом глубина спуска кондуктора должна быть не менее 1000 м (по расчетам) для недопущения межпластовых перетоков в про-

цессе ГНВП из нижележащих АВПД-горизонтов. Давление гидроразрыва также ограничивает максимальную плотность бурового раствора, которая в свою очередь не может быть меньше коэффициента аномальности. В таких практически равновесных условиях требуется пересмотр технологии вскрытия высоконапорных рапопроявляющих зон и уход от технологии бурения «на репрессии», что является также отдельной темой для исследования.

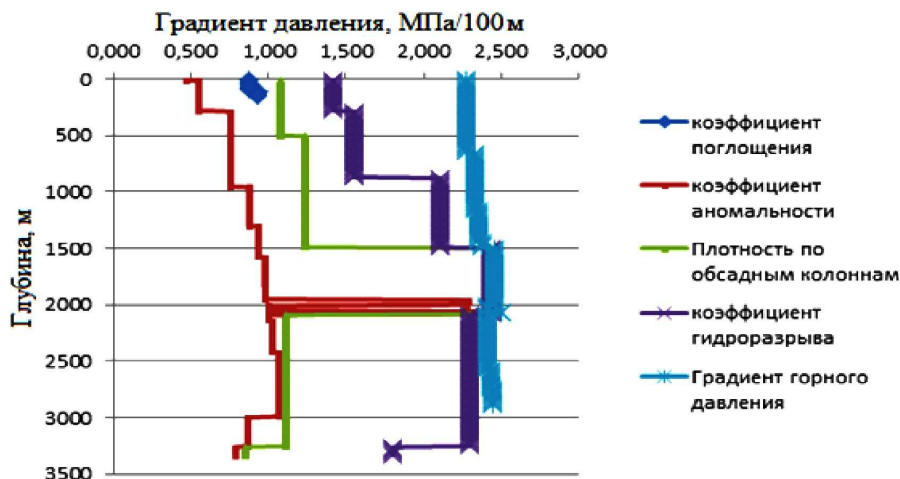


Рисунок 9 – График совмещенных давлений проектной скважины Ковыктинского ГКМ

Для удобства восприятия построен график совмещенных давлений, привязанный к стратиграфическому разрезу (рис. 10). Это позволит проанализировать возможные зоны осложнений при бурении скважин на заданном участке, перевести данные в табличную форму и интерпретировать полученные результаты.

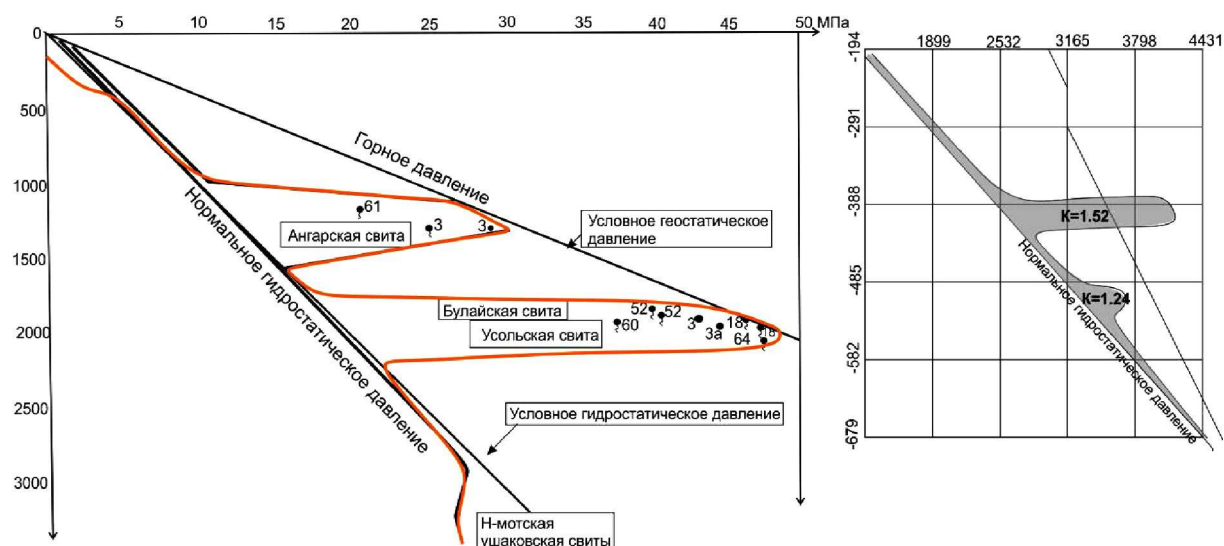


Рисунок 10 – Общий график совмещенных давлений:
а – по данным бурения; б – по данным интерпретации сейсморазведки МОГТ по методике CSD (Ковыктинское ГКМ, галогенно-карбонатная толща нижнего кембрия)

Применение малоглубинных зондирований ЗБС для прогноза условий бурения поисково-разведочных скважин на примере Ковыктинского газоконденсатного месторождения

Малоглубинные исследования мЗСБ на КГКМ

На Ковыктинском ГКМ и прилегающих территориях уже более 15 лет проводятся полевые исследования методом ЗБС с целью прогноза условий бурения, изучения рассолоносных горизонтов и связанных с ними опасных проявлений АВПД, в том числе, в районах скважин, вскрывших объекты с АВПД. В 2014–2015 гг. на Ковыктинском

ГКМ были впервые выполнены площадные электроразведочные работы ЗСБ в модификации малоуглубинных зондирований (мЗСБ), совмещенных с сетью глубинных ЗСБ. Также впервые электроразведочные исследования мЗСБ выполнены с очень высокой пространственной плотностью (до 35 ф.т. на 1 км²).

Целью работ мЗСБ являлось изучение геологического строения верхней части осадочного чехла, картирование водоносных горизонтов и оценка горно-геологических условий бурения в данном интервале (возможных зон поглощения бурового раствора). С учетом абсолютных отметок и региональной геоэлектрической модели Ковыктинского ГКМ, верхняя часть разреза методом мЗСБ изучена до абсолютных отметок 300–400 м (относительные глубины 700–800 м), стратиграфически приуроченных к кровле верховенской свиты.

По данным электроразведочных работ мЗСБ отмечается высокая дифференцированность верхней части разреза до абсолютной глубины 300 м. В составе верхней части разреза по геоэлектрическим характеристикам выделяются три геоэлектрических горизонта, приуроченных к породам ордовикской и средне-верхнекембрийской систем: отложения ордовикской системы, отложения илгинской свиты верхнего кембрия, отложения верховенской свиты средне-верхнего кембрия.

Породы четвертичной системы развиты преимущественно по долинам рек, мощность составляет до 30 м. Отложения нижней подсвиты ордовика (O_{1uk_1}) согласно залегают на красноцветных породах илгинской свиты, выходя на поверхность в долинах рек. Отложения верхней части подсвиты (O_{1uk_2}) покрывают практически всю территорию исследования и представлены мощной толщей переслаивающихся терригенно-карбонатных пород, согласно залегающих на породах нижней подсвиты.

Малоуглубинные исследования ЗСБ позволяют детально дифференцировать интервал верхней части разреза (рис. 11). По результатам глубинных ЗСБ верхняя часть разреза представлена двумя геоэлектрическими горизонтами, тогда как по данным мЗСБ выделяется от 7 до 12 горизонтов, с минимальной мощностью 5–10 м.

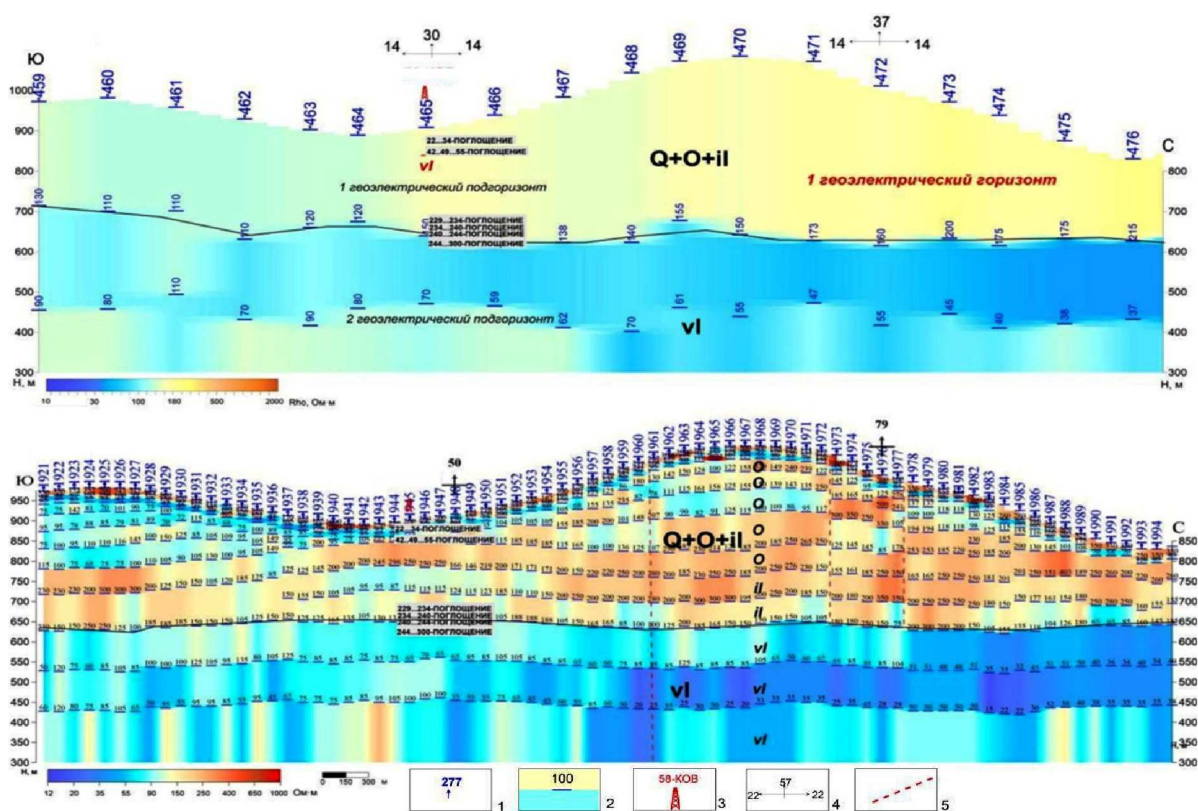


Рисунок 11 – Сопоставление геоэлектрических разрезов верхней части разреза до абсолютной глубины 300 м по данным:

глубинных ЗСБ (верхний рисунок); малоуглубинных ЗСБ (нижний рисунок):

1 – пункты ЗСБ; 2– геоэлектрические горизонты и их сопротивления, Ом·м;

3 – скважины глубокого бурения; 4 – пересечение профилей;

5 – предполагаемые тектонические нарушения по данным электроразведочных работ и мЗСБ

На территории исследования располагались две пробуренных поисковых скважины, в которых фиксировались осложнения в виде поглощения в ВЧР. В одной из скважин процесс бурения в интервале верхней части разреза проходил в очень сложных условиях. С глубины 80 м отмечались постоянные подклинки инструмента, вызванные обвалами стенок скважины. В интервалах верхней части разреза 22–34 м, 42 м, 49–55 (отложения ордовика) и 229–234, 234–240, 240–244 (верхоленская свита) происходили поглощения бурового раствора различной интенсивности – от частичного до полного.

Отложения ордовика под воздействием поверхностных факторов (выветривания, до глубин 30 м от поверхности) приобрели высокую вторичную, главным образом, порово-трещинную проницаемость и способны к интенсивным поглощениям. Поглощения возникали при плотности буровых растворов менее 1 г/см^3 , в том числе при бурении на газожидкостной смеси (ГЖС) и технической воде. Верхоленская свита на участках, где она залегает непосредственно под четвертичными отложениями, тоже подвергнута эрозионным процессам и обладает высокой проницаемостью. Поглощения на таких участках в зоне до 60 м происходили в скважинах при минимальной плотности бурового раствора, в том числе, при бурении на технической воде. Ниже по разрезу поглощения бурового раствора могут быть связаны только с наличием горизонтов-коллекторов.

Проанализировав априорную геологическую информацию, дела поисковых и гидрогеологических скважин, пробуренных на Ковыктинском ГКМ, видно, что осложнения соответствуют положению в разрезе водонасыщенных горизонтов коллекторов. Отложения четвертичной, ордовикской и средне-верхнекембрийской систем входят в надсолевую гидрогеологическую формацию. Надсолевая гидрогеологическая формация в значительной степени дренируется долинами рек и имеет активный режим водообмена. Воды ордовикских, илгинских и верхоленских отложений относятся к пластовым и трещинным инфильтрационным водам метеогенного генезиса. В верхней части формации они безнапорные, в нижней – слабонапорные. Пьезометрическая высота напора ниже устьев скважин от 1 до 294 м, что способствует поглощению буровых растворов. В целом по разрезу надсолевой формации пластовые давления в поглощающих пластах возрастают сверху вниз неравномерно. Широкий диапазон статических уровней и напоров указывает на существование гидродинамической связи между водоносными горизонтами и, следовательно, на возможность подземных перетоков воды между ними. Таким образом, в геологическом разрезе повсеместно до абсолютных глубин 300–400 м могут встречаться водоносные пласты или линзы, а также разделяющие их водоупоры.

Таким образом, строение верхней части разреза Ковыктинского месторождения является достаточно сложным. Поэтому в данных условиях исследования мЗСБ могут успешно применяться для выделения в разрезе водонасыщенных интервалов и разделяющих их водоупоров и, следовательно, для прогноза возможных поглощений в отложениях ордовикской, илгинской и верхоленской свит.

Результаты исследований мЗСБ

Результатами работ малоглубинных ЗСБ являются разрезы и карты геоэлектрических параметров: разрезы продольного сопротивления, карты сопротивления и проводимости. В процессе бурения скважины № 1 в верхней части разреза были встречены интервалы поглощений бурового раствора на абсолютных отметках 895–883 (22–34 от поверхности) м, 875–874 (42–43) м, 868–862 (49–55) м в отложениях ордовика и 687–617 (230–300) м в верхоленской свите. Поглощающие горизонты соответствуют геоэлектрическим слоям с сопротивлением 60–70 Ом·м (ордовик), 100–120 Ом·м (илгинская свита) и 50–60 Ом·м (верхоленская свита). Таким образом, в ВЧР Ковыктинского ГКМ водоносные горизонты могут быть встречены в отложениях ордовикской, также в интервалах илгинской и верхоленской свит.

В результате анализа карт сопротивления были построены схемы распространения горизонтов-коллекторов, которые могут проявить себя поглощениями в процессе бурения, для интервалов отложений ордовика, илгинской и верхоленской свит (рис. 12). Как видно из представленных схем, наибольшим площадным распространением характеризуются горизонты-коллекторы, приуроченные к верхоленской свите, поэтому

они могут вызывать серьезные осложнения при бурении. Для ордовикских горизонтов-коллекторов характерно меньшее распространение, однако они образуют несколько «этажей», между которыми, скорее всего, существуют гидродинамические связи, что также может вызвать катастрофические поглощения в данном интервале.

Заключение

Подробно изучен весь комплекс электроразведочных работ ЗСБ на Ковыктинском газоконденсатном месторождении. Данный вид работ проводился как по сети профилей, так и на площадках проектных скважин. Опыт работ показал высокую чувствительность ЗСБ к проявлению в разрезе интервалов, насыщенных рапой, а также зон возможных поглощений. Сравнение результатов бурения и данных ЗСБ на скважинах свидетельствует о хорошей корреляции величины электропроводности горизонтов и вероятности рапопроявлений.

Зоны повышенной проводимости келорского, бильчирского, биркинского, атовского, христофоровского горизонтов нижнего кембрия при вскрытии проявили себя либо поглощениями, либо АВПД и характеризуют наличие флюидонасыщенного коллектора.

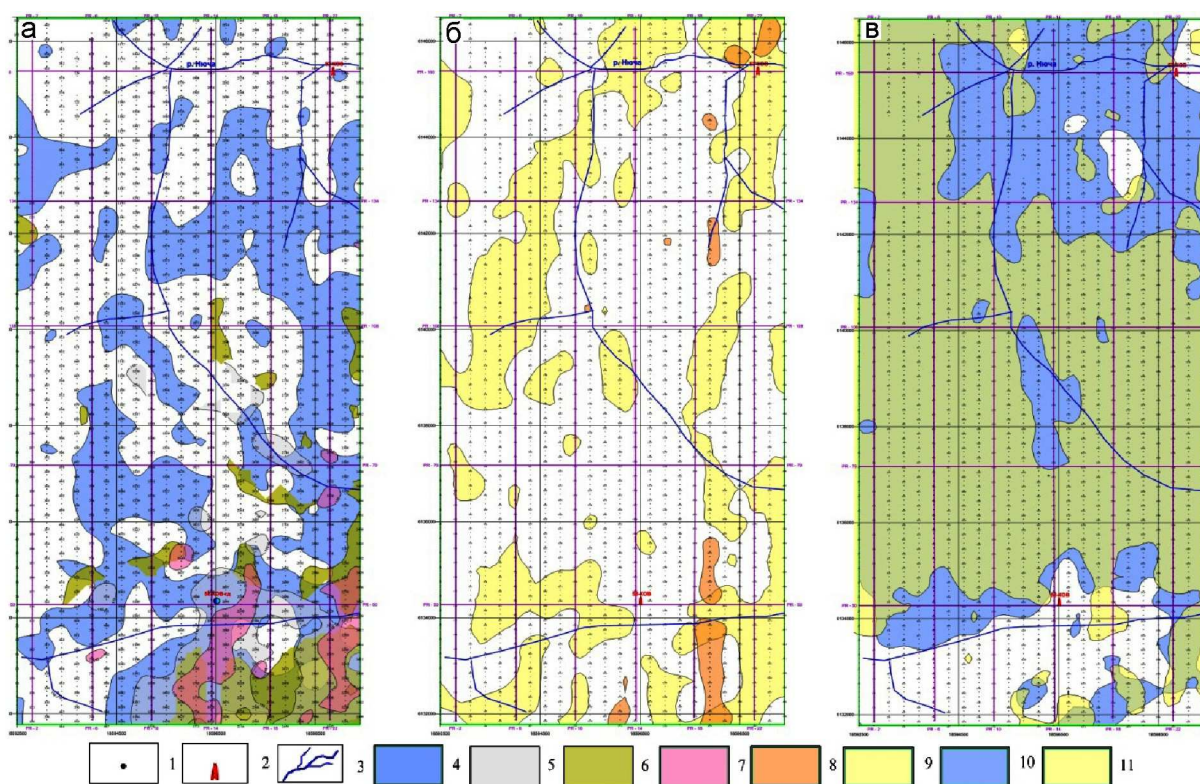


Рисунок 12 – Схема распространения горизонтов-коллекторов с возможным поглощением в процессе бурения в отложениях:

А – ордовика; Б – илгинской; В – верхоленской свит кембрия:

- 1 – пункты наблюдений; 2 – скважины глубокого бурения; 3 – гидросеть;
- горизонты коллекторы в: 4 – приповерхностной части устькутской свиты;
- 5 – верхней части отложений ордовика; 6 – средней части отложений ордовика;
- 7 – подошве отложений ордовика; 8 – кровле илгинской свиты; 9 – подошве илгинской свиты;
- 10 – кровле верхоленской свиты; 11 – средней части верхоленской свиты

Установлен ряд особенностей геоэлектрических параметров разреза, характерных для зон развития коллекторов, вмещающих флюидонапорные системы с АВПД:

1. Флюидонасыщенная зона с АВПД четко локализована и контрастна (по геоэлектрическим характеристикам) по отношению к вмещающим породам.
2. Рассолонасыщенные пласты-коллекторы характеризуются повышенной проводимостью (как правило, более 1 См).
3. Аномальные зоны могут контролироваться тектоническими нарушениями.
4. Комплексирование ЗСБ с сейсморазведкой позволит повысить точность прогноза, т.е. выделить в разрезе зоны АВПД по акустическим характеристикам волнового поля.

5. Накопленная статистика по пробуренным скважинам на территории Ковыктинского ГКМ и площадям юга Сибирской платформы позволяет увязать геоэлектрические, гидродинамические, барические параметры выделенных горизонтов.

В связи с этим в геологических условиях Ковыктинского ГКМ метод ЗСБ является эффективным инструментом для изучения рассолонасыщенных горизонтов-коллекторов с водным или гидроминеральным насыщением по параметру проводимости или сопротивления. Однако подход к прогнозу горизонтов с АВПД с позиций только электроразведки может быть недостаточным. По результатам работ видно, что для детального прогноза наличия в разрезе Ковыктинского ГКМ аномальных по проницаемости коллекторов требуется использование комплексной физико-геологической модели.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что электроразведочные исследования методом малоглубинных ЗСБ являются эффективным инструментом для прогноза условий бурения в верхней части разреза Ковыктинского ГКМ. Проведенные исследования позволяют выявить причины интенсивных поглощений бурового раствора в необходимых интервалах.

Литература:

1. Абалаков А.Д., Зиганшин Э.С., Медведев Ю.О. Экологические аспекты освоения Ковыктинского газоконденсатного месторождения. – Иркутск : Издательство Института географии РАН, 2001. – 194 с.
2. Анциферов А.С. Гидрогеология древнейших нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. – М. : Недра, 1989. – 176 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Осложнения и аварии при строительстве нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2010. – 522 с.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Заканчивание нефтяных и газовых скважин: теория и практика. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2010. – 539 с.
5. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
6. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин в 4 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
7. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин» в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
8. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
9. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоения нафтових і газових свердловин. Наука і практика : монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
10. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы. – Иркутск : Издательство ИРНТУ, 2015. – 248 с.
11. Дзюба А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. – Новосибирск : Издательство «Наука», 1984. – 182 с.
12. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
13. Кошелев А.Т., Климов В.В., Савенок О.В., Усов С.В., Шостак А.В. Осложнения, связанные с дефектами в крепи скважин, и методы их исследований : учебно-методическое пособие. – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2013. – 70 с.
14. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа : учебное пособие. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
15. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах : учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
16. Андреева Е.Е., Баранова А.Г., Валева С.Е. О возможных причинах несовпадения данных бурения и сейсмостроений // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года) в 5 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 30–33.

17. Андреева Е.Е., Баранова А.Г., Жибрик О.Н., Валева С.Е. Геоинформационные технологии и архив промыслово-геофизической информации // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года) в 7 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 39–45.

18. Берсенева С.А., Вахитова Г.Р., Полюдова Н.Ю. Прогноз распределения плотности горных пород по данным нейтронного каротажа // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года) в 5 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 36–38.

19. Вахромеев А.Г., Хохлов Г.А. Перспективы прогноза зон рапопроявлений в Верхоленском (Жигаловском) газоносном районе Иркутской области // Сборник научных трудов «Особенности технологии проводки и закачивания скважин в Восточной Сибири и Якутии». – Новосибирск-Иркутск : Издательство ВСНИИГГиМС, 1988. – С. 140–142.

20. Вахромеев И.С. Об условиях локализации и генетических типах рудных месторождений в надвиговых зонах // Проблемы шарьяжно-надвиговой теории формирования земной коры континентов. – Уфа : Издательство БНЦ УрО АН СССР, 1991. – С. 35–41.

21. Искендеров М.М. Оценка петрофизических параметров коллекторов с учетом их литологической типизации // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года) в 7 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 107–110.

22. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Повышение достоверности геофизических методов в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2017. – № 3. – С. 33–37.

23. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Божежа Д.Н. О целесообразности применения прямопоисковых мобильных технологий для ускорения и оптимизации геологоразведочных работ на нефть и газ // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года) в 7 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 125–145.

24. Пунанова С.А. Микроэлементные критерии при оценке перспектив нефтегазоносности доюрских отложений Западной Сибири // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года) в 7 томах : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 125–145.

25. Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. Интерпретация геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. – 2016. – № 2. – С. 56–66.

26. Теплюк А.М., Савенок О.В. Оценка перспектив доразведки многопластового Южно-Удмуртского месторождения на основе уточнения геологической модели и опытно-промышленная разработка эксплуатационных объектов // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – № 3.

References:

1. Abalakov A.D., Ziganshin E.S., Medvedev Yu.O. Ecological aspects of development of the Kovykta gas-condensate field. – Irkutsk: Publishing house of Institute of geography of RAS, 2001. – 194 p.
2. Antsiferov A.S. Hydrogeology of the most ancient oil-and-gas thicknesses of the Siberian platform. – М. : Nedra, 1989. – 176 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. Complications and accidents at construction oil and gas wells. – Krasnodar : LLC Prosveshcheniye-Yug, 2010. – 522 p.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Completion of oil and gas wells: theory and practice. – Krasnodar : LLC Prosveshcheniye-Yug, 2010. – 539 p.
5. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V. Ekologiya at construction of oil and gas wells : manual for students of higher education institutions. – Krasnodar : LLC Prosveshcheniye-Yug, 2011. – 603 p.

6. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repairs of oil and gas wells in 4 t. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2012–2015. – Т. 1–4.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V. A workshop on discipline «Completion of oil and gas wells» in 4 volumes : manual. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2013–2014. – Т. 1–4.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Scientific bases and practice of development of oil and gas wells. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2016. – 576 p.
9. Bulatov A.I., Kachmar Yu.D., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Osvoennya naftovy i gazovy sverдловin. Nauka i practice : monograph. – Lviv : Spol, 2018. – 476 p.
10. Vakhromeev A.G. Regularities of formation and localization of fields of industrial brines in carbonate kaverno-fracture tanks of the Cambrian of the South of the Siberian platform. – Irkutsk : IRNITU publishing house, 2015. – 248 p.
11. Dzyuba A.A. Unloading of brines of the Siberian platform. – Novosibirsk : Nauka publishing house, 1984. – 182 p.
12. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Bases of geophysical surveys at construction and operation of wells on oil and gas fields : manual. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2016. – 274 p.
13. Koshelev A.T., Klimov V.V., Savenok O.V., Moustaches S.V., Shostak A.V. The complications connected with defects in a timbering of wells, and methods of their researches : educational and methodical grant. – Krasnodar : Prod. KubGTU, 2013. – 70 p.
14. Popov V.V., Bogush I.A., Tretiak A.Ya., Savenok O.V., Lavrentyev A.V. Search, reconnaissance and operation of oil and gas fields : manual. – Novochoerkassk : YuRGPU (NPI), 2015. – 322 p.
15. Popov V.V., Tretiak A.Ya., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical researches and works in wells : manual. – Novochoerkassk : Lik, 2017. – 326 p.
16. Andreyeva E.E., Baranova A.G., Aleeva S.E. About the possible reasons of a discrepancy of data of drilling and seismoconstructions // Bulatovsky readings: materials I of the International nauch-but-practical conference (on March 31, 2017) in 5 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr. Sci. Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2017. – Т. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 30–33.
17. Andreyeva E.E., Baranova A.G., Zhibrik O.N., Valeeva S.E. Geoinformation technologies and archive of trade and geophysical information // Bulatovsky readings: materials II of the International scientific and practical conference (on March 31, 2018) in 7 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr.Sci.Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2018. – Т. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 39–45.
18. Berseneva S.A., Vakhitova G. R., Polyudova N.Yu. The forecast of distribution of density of rocks according to neutron logging // Bulatovskiyе of reading: materials I of the International scientific and practical conference (on March 31, 2017) in 5 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr. Sci. Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2017. – Т. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 36–38.
19. Vakhromeev A.G., Khokhlov G.A. Prospects of the forecast of zones of rapoproyavleniye in Verkholskom (Zhigalovsk) the gas-bearing region of the Irkutsk region // the Collection of scientific works of «Feature of technology of conducting and pumping of wells in Eastern Siberia and Yakutia». – Novosibirsk-Irkutsk : Publishing house VCNIIIGGiMC, 1988. – P. 140–142.
20. Vakhromeev I.S. About conditions of localization and genetic types of ore fields in nadvigoovy zones // Problems of the sharyazhno-nadvigoovy theory of formation of crust of continents. – Ufa : BNTs URO Academy of Sciences of the USSR publishing house, 1991. – P. 35–41.
21. Iskenderov M.M. Assessment of petrophysical parameters of collectors taking into account their lithologic typification // Bulatovsky readings: materials II of the International scientific and practical conference (on March 31, 2018) in 7 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr. Sci. Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2018. – Т. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 107–110.
22. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Increase in reliability of geophysical methods in the inclined directed and horizontal wells // the Scientific and technical magazine «Inzhener-neftyanik». – M. : LLC Ai Dee Es Drilling publishing house, 2017. – № 3. – P. 33–37.
23. Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhezha D.N.O of expediency of use of pryamopoiskovy mobile technologies for acceleration and optimization of exploration works on oil and gas // Bulatovsky readings: materials II of the International scientific and practical conference (on March 31, 2018) in 7 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr. Sci. Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2018. – Т. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 125–145.

24. Punanova S.A. Microelement criteria at assessment of prospects of oil-and-gas content of pre-Jurassic deposits of Western Siberia // Bulatovskiye of reading: materials II of the International scientific and practical conference (on March 31, 2018) in 7 volumes : the collection of articles / under a general edition of the Dr. Sci. Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2018. – T. 1: Forecast, search and investigation of oil and gas fields. Oil and gas geology. Prospecting and trade geophysics. – P. 125–145.

25. Smirnov A.S., Gorlov I.V., Yaitsky N.N., Mountain O.M., Ignatyev S.F., Pospeev A.V., Vakhomeev A.G., Agafonov Yu.A., Buddo I.V. Interpretation of geologic-geophysical data – a way to creation of reliable model of the Kovykta gas-condensate field // Geology of oil and gas. – 2016. – № 2. – P. 56–66.

26. Teplyuk A.M., Savenok O.V. Otsenka of the prospects of additional exploration of the multibedded Southern Udmurt field on the basis of specification of geological model and trial development of operational objects // the Scientific magazine Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing house – the South, 2018. – № 3.