

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Методы повышения нефтеотдачи карбонатных пластов-коллекторов на  
примере Карского месторождения»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы  
направление 05.04.01 геология  
геологического ф-та  
Гаеткулова Руслана Ринатовича

**Научный руководитель**

К. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

К.Б. Головин

**Зав. кафедрой**

К. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2019

**Введение.** Значение нефти и газа в народном хозяйстве страны возрастает с каждым годом. Это не только наиболее экономичные виды топлива, но и важнейшее сырье для получения многих ценных химических продуктов. Нефть и газ превратились в главные источники энергетической мощи человеческого общества и важнейший источник химического сырья. Обеспеченность государства нефтегазовым сырьем определяет уровень экономического развития страны в дальнейшем времени. На базе нефти и газа развивается химическая индустрия по производству новых материалов, совершенствуется технология производства во многих отраслях промышленности, развиваются средства наземного, морского и воздушного транспорта.

В связи со снижением эффективности бурения новых скважин, низкими фильтрационно-емкостными свойствами верейско-башкирских отложений Карского месторождения, неразвитой системой ППД и не подтверждением коллекторских свойств объектов при бурении, средние дебиты с начала 2018 года по пробуренным скважинам Карского месторождения не достигли плановых показателей (при плане 13,9 т/сут, средний дебит нефти составил 10,7 т/сут).

**Целью** написания данной магистерской работы является изучение особенности методов повышения нефтеотдачи и анализ эффективности методов ГРП и водогазового воздействия на Карском месторождении Республики Удмуртия.

Для достижения указанной цели в процессе написания квалификационной работы были поставлены следующие **задачи**:

1. изучить особенности геологического строения и геолого-физических характеристик;
2. изучить методики повышения увеличения нефтеотдачи;
3. на основе разработанных методик рекомендовать конкретные методы воздействия на карбонатные коллекторы верейско-башкирских отложений.

**Актуальность** работы заключается в том, что ГРП и водогазовое воздействие является наиболее распространенными методами повышения нефтеотдачи в Удмуртии, водогазовое воздействие на продуктивный пласт дает положительный экономический эффект за счет увеличения нефтеотдачи, а также за счет оптимизации оборудования и внедрения новых технологий.

Работа состоит из введения, 3 разделов, включающих 12 подразделов, заключения, списка использованных источников, 3 приложений, 15 рисунков и 1 таблицы. Общий объем работы составляет 52 страницы.

Автор благодарен сотрудникам ООО «СОЮЗНЕФТЕГАЗСЕРВИС-ГЕО» оказавшим помощь в сборе необходимых материалов для написания работы.

**Основное содержание работы.** В 1 разделе работы «Геолого-геофизическая характеристика района работ» рассматривается изученность территории геолого-геофизическими исследованиями и бурением. Отмечается, что Карская структура выявлена сейсморазведочными работами МОВ в 1968 году и подготовлена к глубокому бурению в 1971 году. В глубокое бурение введена в 1972 году. В 2006 году составлен «Проект пробной эксплуатации Карского месторождения». В 2007 году на месторождении начато эксплуатационное бурение. В 2008 году на месторождении проведены полевые сейсморазведочные работы МОГТ - 3D в объеме 180 км<sup>2</sup>.

На 1 января 2010 года пробурено 25 эксплуатационных скважин и 1 скважина разведочная, которые позволили уточнить геологическое строение месторождения и нефтегазоносность продуктивных пластов (подраздел 1.1).

Даются сведения о тектоническом строении Карского месторождения (подраздел 1.2), данное месторождение расположено в Северной структурно-тектонической зоне Верхнекамской впадины, основной особенностью которой является отсутствие в разрезе отложений рифейского комплекса протерозоя. По данным геофизических исследований фундамент имеет блоковое строение, ступенчато погружаясь в юго-восточном направлении. Поверхность фундамента облекают породы вендской системы протерозоя. Близость поверхности

фундамента к палеозойскому чехлу определила основную особенность тектонического строения Карского участка: структуры имеют разнообразную форму - от вытянутых по простиранию складок до куполообразных поднятий.

Карская структура представляет собой брахиантиклинальную складку северо-западного простирания, состоящую из двух поднятий: Карского и Южно-Карского, разделенные узким прогибом, которые в свою очередь осложнены рядом куполообразных поднятий разной величины и ориентировки.

В геологическом строении Карского месторождения принимают участие кристаллические породы фундамента и осадочные образования венда и палеозоя. Стратиграфическое расчленение разреза произведено в соответствии с унифицированной стратиграфической схемой Волго-Уральской нефтегазоносной провинции от 1988 года.

Наиболее древними образованиями, залегающими в основании геологического разреза, являются породы кристаллического фундамента (подраздел 1.3).

Указывается, что промышленная нефтегазоносность (подраздел 1.4) республики Удмуртия в районе Карского поднятия приурочена к карбонатным отложениям касимовского яруса верхнего карбона (пласт С3к), мячковского горизонта (пласт С2мс-II), подольского горизонта (пласты П2, П3), каширского горизонта (пласт К4), верейского горизонта (пласты В-0, В-II, В-IIIа, В-IIIб), башкирского яруса (пласты А4-0+1, А4-2, А4-3). Все залежи осложнены газовыми шапками. Содержание азота в газе составляет более 95 %.

**В разделе 2** описывается методика исследования. В подразделе 2.1 приводится классификация методов повышения нефтеотдачи пластов, состоящая из: Тепловые МУН (пункт 2.1.1) – это методы интенсификации притока нефти и повышения продуктивности эксплуатационных скважин, основанные на искусственном увеличении температуры в их стволе и призабойной зоне. Газовые МУН (пункт 2.1.2) - Метод основан на закачке воздуха в пласт и его трансформации в эффективные вытесняющие агенты за счет низкотемпературных внутрипластовых окислительных процессов.

Химические МУН (пункт 2.1.3) применяются для дополнительного извлечения нефти из сильно истощенных, заводненных нефтеносных пластов с рассеянной, нерегулярной нефтенасыщенностью. Гидродинамические МУН (пункт 2.1.4) гидродинамические методы при заводнении позволяют интенсифицировать текущую добычу нефти, увеличивать степень извлечения нефти, а также уменьшать объемы прокачиваемой через пласты воды и снижать текущую обводненность добываемой жидкости.

В подразделе 2.2 описаны методы увеличения дебита скважин. Далее перечисленные методы, характеризующиеся различной потенциальной возможностью увеличения нефтеотдачи пластов, такие как: гидравлический разрыв пласта, горизонтальные скважины, электромагнитное воздействие, волновое воздействие на пласт.

В подразделе 2.3 приведены критерии применения методов повышения нефтеотдачи. Для каждого метода существуют свои критерии применимости, которые обусловлены особенностями реализуемого процесса разработки. Однако есть общие для всех методов критерии, которые определяют эффективность и целесообразность применения методов повышения нефтеотдачи. К таким критериям, например, относятся: трещиноватость коллектора, высокая водонасыщенность нефтяного пласта, высокая вязкость нефти, высокая глинистость коллектора, большая жесткость пластовых вод.

В подразделе 2.4 описан гидроразрыв пласта и приведена его техника ГРП (пункт 2.4.1). Гидроразрыв пласта - является одним из наиболее эффективных методов интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов и увеличения выработки запасов нефти.

В подразделе 2.5 изучены водогазовые методы воздействия на продуктивный пласт, описаны механизмы процесса ВГВ (пункт 2.5.1) и проведен анализ технологий ВГВ на продуктивные пласты (пункт 2.5.2). Реализация технологии ВГВ основана на закачке водного раствора с диспергированным в нем попутным газом. Наличие дешевых и не утилизируемых ресурсов углеводородного газа и широкой фракции легких углеводородов позволит

решить вопрос создания и применения газовых и водогазовых методов воздействия на нефтяные пласты для увеличения их нефтеотдачи.

В 3 разделе приводятся результаты выполненных исследований. В подразделе 3.1 рассмотрен анализ эффективности гидравлического разрыва пласта. В период с января 2011 года по май 2019 года проведено 79 операций по гидравлическому разрыву пласта. Из них, в 2011 году – 8 операций, в 2012 году 12 операций, в 2013 году – 9 операций, в 2014 году – 18, в 2016 году – 27 операций, в 2018 году – 16 операций, в 2019 году 11.

Максимальный дебит по нефти после ГРП получен в 2012 году – 29.2 т/сут. (при обводненности 28.5%), наименьший получен – 7.3 т/сут. (при обводненности 65.8%). Наибольший дебит по нефти при низкой обводненности объясняется тем, что скважина расположена в чистонефтяной зоне с максимальными нефтенасыщенными толщинами. Наименьший дебит по нефти при высокой обводненности объясняется тем, что скважина расположена в водонефтяной зоне, где операция ГРП привела к преждевременной обводненности скважины.

Средний дебит по нефти после проведения операций ГРП на добывающих скважинах в 2011 году – 13.3 т/сут, в 2012 году – 14.5 т/сут, в 2013 году – 19.1 т/сут, в 2014 году – 25,1 т/сут, в 2016 году – 28.2 т/сут, в 2018 году – 31.1 т/сут, в 2019 году – 33.1 т/сут.

Обводненность скважин после проведения операций ГРП увеличилась.

Средняя обводненность по месторождению достигла на конец 2013 года - 80.2%.

Дополнительная годовая добыча нефти за счет ГРП в 2011 году – 12.1 тыс.т., в 2012 году – 13,2 тыс.т, в 2013 году – 17.6 тыс.т, в 2014 году – 31.8 тыс.т, в 2016 году – 30.2 тыс.т, в 2018 году – 30.3 тыс.т, в 2019 году – 32.1 тыс.т сравнительный прирост годовой добычи нефти.

Дополнительная накопленная добыча нефти за счет ГРП в 2011 году - 22,6 тыс.т., в 2012 году – 23,9 тыс.т, в 2013 году – 25,2 тыс.т., в 2014 году – 27,7 тыс.т, 2016 году – 31,2 тыс.т., в 2018 году – 33,1 тыс.т, в 2019 году – 31,7.

Высокий вклад операций ГРП в годовую и накопленную добычу нефти говорит о высокой эффективности этого способа повышения продуктивности добывающих скважин.

Анализ эффективности показывает увеличения дебитов по нефти после проведения ГРП в 1,8 раз, что подтверждает среднюю эффективность этого способа повышения продуктивности добывающих скважин.

В подразделе 3.2 для оценки эффективности применения водогазового воздействия были проведены лабораторные фильтрационные эксперименты на натурном керне. Для подготовки моделей пласта были отобраны образцы керна, ориентированные параллельно напластованию, с характеристиками, близкими к средним для рассматриваемого объекта разработки. Подготовка моделей пласта производили в соответствии с ОСТ 39-195-86. В экспериментах была воспроизведена технология закачки в пласт водогазовой смеси с различной концентрацией газа, находящейся в стабильном состоянии. В качестве газа использовался азот.

В первых экспериментах испытывалась десятипроцентная концентрация водогазовой смеси. Базовая фазовая проницаемость, относительно которой рассчитывался эффект, была получена по модели пластовой воды при остаточной нефтенасыщенности, то есть при стопроцентной обводненности.

В результате воздействия на обводненную модель было получено значительное снижение фазовой проницаемости по водогазовой смеси по сравнению с вытеснением обычной водой. В дополнение к этому был отмечен дополнительный выход нефти. В результате зафиксирован прирост коэффициента вытеснения до 13% в широком диапазоне проницаемостей.

Следующий этап лабораторных экспериментов был посвящен изучению эффективности воздействия водогазовой смеси с концентрацией от 3 до 15%. Прокачки водогазовой смеси производились последовательно до тех пор, пока при каждой концентрации не наступала стабилизация процесса фильтрации. По мере увеличения концентрации водогазовой смеси свыше 3% происходит снижение скорости фильтрации и рост коэффициента вытеснения.

Полученные результаты объясняются тем, что при фильтрации водогазовой смеси происходит увеличение количества свободного газа в поровом пространстве, что приводит к возникновению дополнительных фильтрационных сопротивлений. Это означает, что на фоне снижения фазовой проницаемости наблюдается рост коэффициента охвата каналов фильтрации, которые при обычном заводнении оказались не вовлечёнными в процесс вытеснения.

Чтобы подтвердить выравнивание профиля приемистости и рост коэффициента охвата, был проведен эксперимент на обводненной модели неоднородного двухслойного пласта, состоящей из двух параллельных линейных моделей разной проницаемости. Подготовка моделей пласта производилась по той же схеме, что и в предыдущих экспериментах. По результатам получено перераспределение фильтрационных потоков и рост коэффициента вытеснения за счет более полного вовлечения в разработку низкопроницаемой модели пласта.

В подразделе 3.3 проведено гидродинамическое моделирование. Результаты лабораторных экспериментов были подтверждены в ходе гидродинамического моделирования. На опытном участке объекта моделирования были рассчитаны два варианта разработки: с обычным заводнением и закачкой водогазовой смеси. В варианте с водогазовым воздействием под закачку была переведена одна из нагнетательных скважин, что показало свою эффективность. По результатам расчетов снижение обводненности и прирост дебита нефти также наблюдались у соседних скважин. Причем этот эффект достигался до прорыва газа в добывающие скважины.

Для оценки прироста добычи по объекту в целом был рассчитан вариант с переводом под закачку водогазовой смеси всего действующего нагнетательного фонда скважин. В результате расчетов по верейско-башкирскому объекту за шесть лет разработки водогазового воздействия прирост коэффициента извлечения нефти должен составить 5%, при этом в сутки объем использования попутного нефтяного газа для закачки в пласт составил 12% от его суточной

добычи, показанной на рисунке 1, что означает повышение процента эффективного использования газа при достаточно низких концентрациях водогазовой смеси.

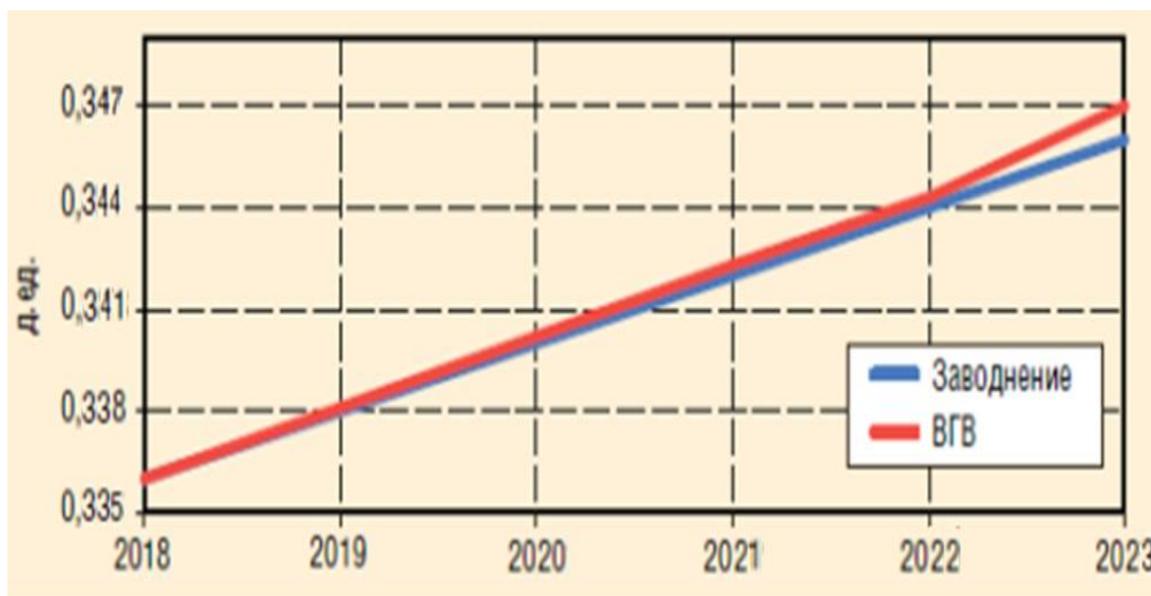


Рисунок 1 - Прирост коэффициента извлечения нефти при переводе под закачку водогазовой смеси всего действующего нагнетательного фонда.

Рассматриваемый в данном проекте способ водогазового воздействия также не имеет специфических особенностей, если рассматривать его и с точки зрения экологии, за исключением одной положительной черты, которая подчеркивается на протяжении всей работы – технология водогазового воздействия позволяет утилизировать попутный нефтяной газ, что является ее преимуществом при выборе методов увеличения нефтеизвлечения.

**Заключение.** В соответствии с поставленной задачей в данной работе дано описание методов повышения нефтеотдачи и в частности те методы, которые используются на Карском месторождении такие как метод ГРП и водогазовое воздействие.

Анализ эффективности показывает увеличения дебитов по нефти после ГРП в 1,8 раза, что подтверждает среднюю эффективность этого способа повышения продуктивности добывающих скважин.

По результатам проведенных исследований технологии ВГВ были сделаны следующие выводы. Во-первых, в ходе лабораторных экспериментов получен

положительный эффект от моделирования водогазового воздействия в неоднородных карбонатных коллекторах, установлены дополнительные критерии применения технологии водогазового воздействия. Во-вторых, эффективность водогазового воздействия подтверждена в ходе гидродинамического моделирования – получен рост коэффициента извлечения нефти. В-третьих, показана возможность увеличения объемов эффективного использования попутного нефтяного газа. В дальнейшем эффективность метода планируется подтвердить в ходе опытно-промышленных испытаний.

Подводя итоги, можно сделать выводы о том, что если опытно-промышленные работы по осуществлению водогазового воздействия на Карском месторождении подтвердят его эффективность на практике, то возможен переход от заводнения на закачку в нагнетательные скважины водогазовой смеси, что также позволит решить проблему утилизации попутного нефтяного газа.