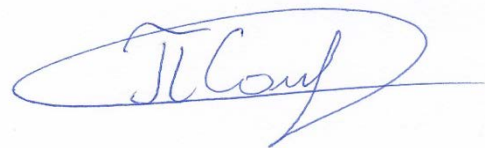


На правах рукописи



Соляной Павел Николаевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ
НЕФТИ С НЕОДНОРОДНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ
СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ**

**(на примере юрских отложений месторождений
Кумколь и Северные Бузачи)**

Специальность 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2018

Работа выполнена на кафедре «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Владимиров Игорь Вячеславович

Официальные оппоненты: **Индрупский Илья Михайлович**
доктор технических наук,
профессор РАН
ФГБУН Институт проблем нефти и газа
Российской академии наук (ИПНГ
РАН) / лаборатория
газонефтеконденсатоотдачи пластов,
заведующий лабораторией

Хакимзянов Ильгизар Нургизарович
доктор технических наук,
Татарский научно-исследовательский и
проектный институт нефти (ТатНИПИнефть)
ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина / отдел
разработки нефтяных месторождений,
заведующий лабораторией

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью
«Роснефть - Уфимский научно-
исследовательский институт нефти» (г. Уфа)

Защита диссертации состоится 1 марта 2018 года в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 20__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современное состояние нефтегазодобывающей отрасли в России характеризуется неуклонным ухудшением структуры запасов углеводородов и нарастающим вовлечением в разработку трудноизвлекаемых запасов. Данная объективная тенденция уже привела к ощутимому снижению объемов добычи нефти в основных нефтегазоносных регионах страны с дальнейшим неблагоприятным прогнозом.

Основная проблема эксплуатации нефтяных месторождений заключается в неоптимальной системе разработки, которая не соответствует геологическим особенностям строения неоднородных продуктивных пластов. В результате происходит опережающая выработка запасов нефти, сосредоточенных в высокопроницаемых и высокопродуктивных коллекторах, формирование остаточных запасов в низкопроницаемых зонах коллекторов, быстрый рост обводненности и снижение темпов отбора. Можно выделить следующие виды неоднородностей: геометрическую неоднородность строения кровли продуктивных горизонтов, тектоническую и литолого-фациальную, которые в процессе разработки усиливают флюидальную неоднородность. Представленная работа посвящена изучению проблем влияния геологических неоднородностей разного типа на эффективность систем разработки в условиях сложнопостроенного неоднородного коллектора и использованию особенностей геологического строения залежи в повышении эффективности выработки запасов нефти.

Объектом исследований настоящей работы являются:

- коллекторы юрских отложений с существенным проявлением геометрической неоднородности строения кровли продуктивных горизонтов на показатели разработки месторождения Кумколь с легкой нефтью.
- литолого-фациально и тектонически неоднородные коллекторы юрских отложений месторождения Северные Бузачи (СБ) с высоковязкой нефтью.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют формуле специальности 25.00.17: разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: геолого-физические и физико-химические процессы, протекающие в пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр нефти и газа известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для создания научных основ эффективных систем разработки месторождений углеводородов и функционирования подземных хранилищ газа (п. 2); научные аспекты и средства обеспечения системного комплексного (мультидисциплинарного) проектирования и мониторинга процессов разработки месторождений углеводородов, эксплуатации подземных хранилищ газа, создаваемых в истощенных месторождениях и водонасыщенных пластах с целью рационального недропользования (п. 3).

Степень разработанности проблемы

Накоплен огромный опыт в изучении вопросов оптимизации системы разработки нефтяных залежей с различными геологическими неоднородностями как отечественными учеными (М.М. Саттаров, Б.Т. Баишев, М.А. Токарев, Ю.В. Зейгман, Е.В. Лозин, И.М. Бакиров, Р.Н. Бахтизин, Р.Р. Ибатуллин, Р.Г. Абдулмазитов, И.В. Владимиров, А.Т. Зарипов, Н.Г. Ибрагимов, А.Х. Мирзаджанзаде, И.Т. Мищенко, Р.Х. Муслимов, А.В. Насыбуллин, Н.Н. Непримеров, В.А. Иктисанов, М.Х. Хайруллин, Р.Б. Хисамов, М.М. Хасанов, Н.И. Хисамутдинов, Э.И. Сулейманов, Р.Т. Фазлыев, Р.Р. Фаррахова, Р.Н. Дияшев, Ю.П. Борисов, В.Д. Лысенко, Ю.П. Желтов, А.П. Крылов, С.Н. Закиров и др.), так и зарубежными (М. Маскет, Ф.Ф. Крейг, R.A. Nelson, L.P. Dake, H.N. Hall, S.I. Ozkaya, S. Siyabi и др.).

В частности, Р.И. Медведский, С.Н. Закиров, А.А. Боксерман, А.С. Шубин изучали влияние сил гравитации на процесс вытеснения нефти водой. При этом был сделан вывод, что в условиях существенного влияния сил гравитации на разделение нефти и воды рекомендуется перенос зоны отбора в кровельную часть пласта, а нагнетание воды - в подошвенную.

А.Г. Пономарев и Ю.П. Борисов изучали зонально-неоднородные пласты и сделали вывод, что в условиях месторождений нефти повышенной вязкости лучшие показатели заводнения по величине отбора и охвату пласта заводнением могут быть достигнуты при размещении добывающих скважин в зонах пласта с лучшими коллекторскими свойствами, а водонагнетательных скважин - в зонах пласта с ухудшенной проницаемостью.

А.И. Тимурзиев, Г.Н. Гогоненков, Ю.А. Курьянов, S.I. Ozkaya, И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин, Р.Х. Муслимов, О.Л. Кузнецов, С.О. Денк, В.Д. Викторин, Н.П. Запивалов, В.А. Трофимов, В.И. Корчагин, М.В. Багдасарова, С.Р. Бембель, Д.Г. Афонин и др. занимались исследованием вопросов, связанных с тектоническими и флюидодинамическими процессами в пласте.

Большинство исследований авторов, связанных с оптимизацией системы разработки, было основано на идее равномерных сеток скважин. Такой подход был вполне оправдан и обусловлен тем, что неоднородность пластов изучена недостаточно. Однако, когда геологические особенности строения нефтяной залежи уже хорошо изучены, появляется возможность оптимальной трансформации системы заводнения. Именно здесь возникает основная проблема, связанная с недостаточным учетом влияния факторов неоднородностей пластов различной природы на процессы нефтеизвлечения. Поэтому задача совершенствования технологий разработки нефтяных залежей с применением заводнения с максимальным учетом неоднородности строения пластов является актуальной.

Цель работы

На основе детального изучения влияния неоднородностей пластовых систем различных типов на выработку запасов нефти обосновать оптимальные условия эффективной разработки месторождений нефти.

Основные задачи исследования

1 Аналитический обзор научно-технической литературы по проблемам разработки и геологическим особенностям строения высокопродуктивных неоднородных коллекторов.

2 Исследование влияния структурных особенностей строения залежей на выработку запасов на основе фактических данных разработки горизонтов Ю1 и Ю2 (второй объект разработки) месторождения Кумколь.

3 Исследование влияния различных типов неоднородности на эффективность системы заводнения и показатели работы скважин, разрабатывающие залежи нефти месторождения Северные Бузачи в юрских отложениях (первый объект разработки).

4 Выявление закономерностей влияния неоднородностей пластовых систем на выработку запасов нефти с целью оптимизации системы разработки рассматриваемых месторождений.

Научная новизна

1 По I объекту разработки месторождения Северные Бузачи установлено, что в зонально-неоднородном пласте, насыщенном высоковязкой нефтью, условием оптимального размещения добывающих и нагнетательных скважин является значение соотношения

$\frac{K_1 m_1 h_1^2}{K_2 m_2 h_2^2} < 0,77$ (K_1, m_1, h_1 и K_2, m_2, h_2 – проницаемость, пористость, эффективная толщина в зонах нагнетания и добычи, соответственно).

2 Доказано, что критериями выявления высокопродуктивных зон разуплотнения и тектонических деструкций коллектора юрских горизонтов Ю1 и Ю2 месторождения Северные Бузачи являются: в добывающих скважинах - неустойчивость динамики дебита по нефти (частое, т.е. не менее 2 месяцев в году, многократное относительное изменение величины дебита по нефти) и/или высокое значение среднего дебита по нефти (более чем 20 т/сут или превышение среднего значения более чем в 1,55), в нагнетательных скважинах – низкие значения отношения устьевого давления к приемистости ($< 0,0186$ МПа·сут/м³ или менее 0,5 от среднего значения).

3 Установлено влияние мини-антиклинальных структур, к которым приурочены остаточные скопления нефти с низкой плотностью, а также другие факторы: расчленённость, средняя толщина пропластка, текущий коэффициент извлечения нефти (КИН), накопленная обводненность и импеданс, выявленных с

помощью деревьев решающих правил, позволяют давать более точный прогноз начальных технологических показателей уплотняющих скважин на поздней стадии разработки залежей. Применительно к месторождению Кумколь показано, что для эффективного бурения новых скважин необходимо, чтобы амплитуда локальных поднятий кровли пласта была выше чем 2,2 м, показатель расчлененности более 7 отн.ед, средняя толщина пропластка менее 2 м.

Теоретическая и практическая значимость работы

На основе анализа промысловых данных получены критерии оптимального расположения добывающих и нагнетательных скважин в зонально-неоднородном пласте: добывающие скважины необходимо размещать в высокопродуктивных, трещиноватых и разуплотненных коллекторах, а нагнетательные – в смежных более плотных и низкопродуктивных зонах.

Предложен метод оценки удельной продуктивности водоносного горизонта и расчета коэффициента влияния аквифера на эффективность действующей системы разработки, заключающийся в дифференцированном подходе к анализу ячеек заводнения. Данный метод применим к нефтяным месторождениям с проявлением признаков водонапорного режима.

Показано, что на основе часто замеряемых и наиболее доступных промысловых показателей (динамика по скважинам дебитов по нефти, приемистости и устьевого давления) можно локализовать зоны разуплотнения и тектонических деструкций.

Уточнены методы прогнозирования технологических показателей уплотняющих скважин: учет мини-антиклинальных структур, к которым приурочены остаточные скопления нефти с низкой плотностью, и других факторов с помощью метода машинного обучения (деревья решающих правил) позволяет на поздней стадии разработки залежей давать более точный прогноз начальных технологических показателей уплотняющих скважин.

Результаты по выявлению мини-антиклинальных структур использовались при локализации остаточных запасов для бурения уплотняющих скважин в нефтяных залежах юрских отложений месторождения Кумколь.

Результаты по оптимальному взаимному размещению добывающих и нагнетательных скважин в условиях тектонически разуплотненных коллекторов юрских отложений месторождения Северные Бузачи позволили получить дополнительную добычу нефти 4,2 тыс. тонн по 3 добывающим скважинам за 9 месяцев.

Методология и методы исследований

Решение поставленных задач основано на использовании методов обработки статистической информации: деревья решающих правил, метод Вальда, статистический метод проверки гипотез (t-тест), характеристики вытеснения, а также результатов геофизических исследований скважин (ГИС), сейсмических атрибутов и показателей, характеризующих историю разработки месторождения. Указанные методы статистической обработки информации рекомендованы ЦКР «Роснедра» для использования в российских нефтяных компаниях.

Положения, выносимые на защиту

1 Методический подход по оптимальному размещению добывающих и нагнетательных скважин в зонально-неоднородных коллекторах на основе комплексного критерия, учитывающего проницаемость, пористость и эффективную толщину коллектора пласта.

2 Условия выявления высокопродуктивных зон разуплотнения и тектонических деструкций коллектора, полученные с использованием основных промысловых показателей: дебитов по нефти добывающих скважин и отношение устьевого давления к приемистости нагнетательных скважин.

3 Метод повышения эффективности системы разработки, основанный на анализе влияния системы заводнения и активных водоносных зон на выработку запасов нефти и регулировании объемов закачиваемой воды и отбираемой жидкости.

4 Метод прогнозирования начальных технологических показателей на основе учета мини-антиклинальных структур, к которым приурочены остаточные скопления нефти с низкой плотностью.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов достигалась путем применения методов статистической обработки промысловой информации, использования принципиальной флюидодинамической модели объекта разработки и подтверждения правильности рекомендуемых решений на основе фактических примеров трансформаций системы заводнения.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на: 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (г. Долгопрудный, 2010 г.), АО «ТУРГАЙ ПЕТРОЛЕУМ» (г. Кызылорда, 2010 г.), «Buzachi Operating Ltd.» (г. Актау, 2011 - 2014 гг.), III Международном симпозиуме «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов», ОАО «ВНИИнефть» (Москва, 20 - 21 сентября 2011 г.), IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина (Москва, 30 января – 1 февраля 2012 г.), 1-ом Международном Форуме «Геологоразведка Казахстана: Фокус Нефть и Газ» 12 - 13 марта 2015 года (Казахстан, Астана, RIXOS PRESIDENT ASTANA HOTEL), Научно-практической конференции: «Проблемы разработки нефтяных месторождений в условиях сильных пластовых и флюидальных неоднородностей», Технопарк (Тюмень, 16 апреля 2015 г.), Международной научно-практической конференции «Новые Идеи в Геологии Нефти и Газа - 2015», Геологический факультет МГУ, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых (Москва, 29 - 29 мая 2015 г.), Российской нефтегазовой технической конференция SPE (26 - 28 октября 2015 г., Москва).

Публикации

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, пять из них - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, включающего 147

наименований. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 25 таблиц, 128 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы главные задачи и цель исследования, приведены научная новизна, основные защищаемые положения и практическая ценность работы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору научно-технической литературы по вопросам строения и проблем разработки высокопродуктивных неоднородных коллекторов.

Существующая практика разработки большинства месторождений направлена на использование регулярных систем заводнения. Однако регулярность систем заводнения на раннем этапе вполне оправдана и обусловлена тем, что неоднородность пластов изучена слабо и при прогнозировании технологических показателей она либо не учитывается (модель однородного пласта), либо описывается условно через определенные законы распределения без строго детерминированного указания свойств в каждой точке разрабатываемого объекта. На более поздних стадиях равномерные системы усиливают неустойчивость фронта заводнения пласта, осложненного различными геологическими неоднородностями, знания о которых обычно появляются только ближе к концу разбуривания основной сетки скважин. Указанные неоднородности формируют естественный потенциал пласта и создают наиболее вероятные пути фильтрации.

А.И. Пономарев исследовал вопрос повышения эффективности разработки залежей углеводородов в низкопроницаемых и слоисто-неоднородных коллекторах, а также прогнозирования избирательного обводнения месторождений и скважин.

По мнению некоторых современных исследователей, практически все месторождения нефти и газа приурочены к очагам трещиноватости, системам нарушений и разрывных дислокаций.

Существующие теоретические подходы к исследованиям процессов фильтрации при активном техногенном воздействии необходимо развить далее и

применить к конкретным нефтяным залежам. В качестве объектов исследований диссертационной работы выбраны горизонты юрских отложений (Ю1 и Ю2) месторождений:

- Кумколь, с очень легкой нефтью и высоким влиянием мини-антиклинальных структур на локализацию остаточных запасов нефти;
- Северные Бузачи, с высоковязкой нефтью, проявлением водонапорного режима, литолого-фациальной неоднородности и неоднородности, вызванной зонами тектонической деструкции.

Все описанные в обзоре проблемы разработки высокопродуктивных неоднородных коллекторов в полной мере характерны для выбранных объектов исследования.

Во второй главе рассмотрены особенности геологического строения и разработки горизонтов Ю1 и Ю2 первого эксплуатационного объекта месторождения Северные Бузачи и второго эксплуатационного объекта месторождения Кумколь.

Горизонты основных объектов разработки месторождения Кумколь характеризуются высокой продуктивностью, литолого-фациальной неоднородностью по латерали и по разрезу, расчлененностью, а также геометрическими особенностями строения структуры кровли. Данное геологическое строение, а также свойства пластовых флюидов предопределили основные проблемы в разработке месторождения.

В настоящее время около половины добывающих скважин месторождения обводнены более чем на 90 %. Основными причинами этого являются прорыв закачиваемой воды по высокопроницаемым пропласткам, локализация остаточных запасов в мини-антиклинальных ловушках и подтягивание воды из подошвенной части пласта контактной водонефтяной зоне (ВНЗ), существенная истощенность запасов по некоторым участкам.

Эффективная нефтенасыщенная толщина горизонта Ю1 составляет в среднем 6,3 м, а горизонта Ю2 – 5,6 м. Пластовая нефть характеризуется как низкосернистая, высокопарафинистая (массовая доля 12 %) и маловязкая (0,76

мПа·с). Пластовая вода характеризуется хлоркальциевым типом со средней минерализацией 52,5 г/л.

На поздней стадии разработки локальные куполовидные поднятия залежи на втором объекте выполняют роль мини-ловушек, обеспечивая консолидацию углеводородов в зонах повышенных гипсометрических отметок. Этот тезис подтвердился статистическим анализом: при бурении уплотняющих скважин и переводах с других объектов начальные извлекаемые запасы нефти (НИЗ) в зоне локальных куполов оказались в среднем на 22 тыс. тонн выше, а входная обводненность на 17 - 25 % ниже по сравнению со скважинами, размещенными в прогибах.

Первый объект месторождения Северные Бузачи представлен высокопродуктивными горизонтами Ю1 и Ю2 средней проницаемостью 1 – 2,5 Дарси и средней эффективной нефтенасыщенной толщиной 21 м. Существенно проявляется литологическая и тектоническая неоднородность.

В работе показано, что степень выработки запасов по участкам в условиях зональной неоднородности очень неравномерна: отличие составляет 10 раз и более.

В региональном плане район месторождения Северные Бузачи находится в зоне повышенной геодинамической активности. Разрывные нарушения, в большом количестве выявленные по результатам интерпретации данных 3D сейсморазведки.

В третьей главе рассматриваются вопросы, связанные с влиянием водонапорного режима, структурных особенностей строения продуктивных горизонтов и литолого-фациальной неоднородности на показатели выработки запасов.

В первой части главы исследуется влияние геометрических особенностей строения кровли юрских горизонтов на входные показатели работы скважин и выработку запасов второго объекта месторождения Кумколь с помощью деревьев решающих правил.

В работе были использованы классификационные бинарные деревья, которые позволили получить важные знания о влиянии геологического строения

пласта и параметров системы разработки на показатели работы скважин в виде иерархических правил. Примером таких правил может служить дерево решающих правил (рисунок 1).

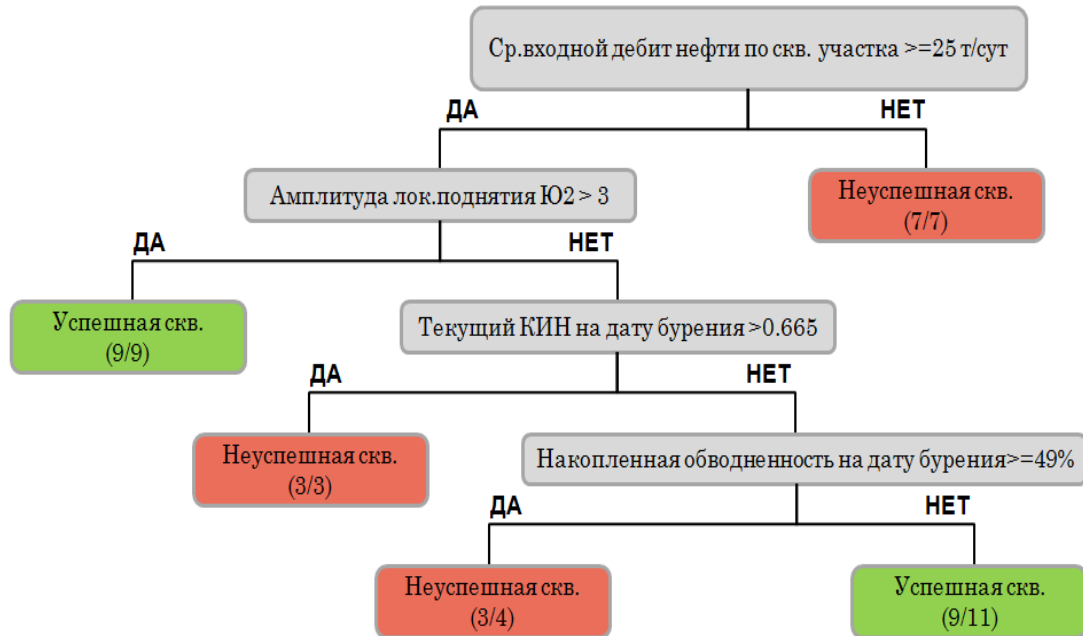


Рисунок 1 – Дерево решений для уплотняющего бурения по признаку входного дебита по нефти. Месторождение Кумколь. Объект Ю1+2

В следующем разделе третьей главы рассматривается вопрос, связанный с оптимальным взаимным размещением добывающих и нагнетательных скважин в условиях литологически неоднородного пласта.

На основе данных эксплуатации скважин первого объекта месторождения Северные Бузачи был проверен критерий оптимального размещения нагнетательных и добывающих скважин, полученный на основе точного решения одномерной задачи о вытеснении нефти водой из зонально - неоднородного пласта по схеме Лейбензона – Маскета (1):

$$K_1 m_1 h_1^2 < K_2 m_2 h_2^2 \quad (1)$$

где K – проницаемость, m – пористость, h – эффективная толщина. Индексом 1 обозначается зона нагнетания, индексом 2 – зона добычи. С использованием этого критерия по основному фонду объекта Ю1-2 месторождения Северные Бузачи были сформированы группы пар скважин с благоприятным и неблагоприятным взаимным расположением. В «благоприятную» группу отбирались пары, для которых неравенство (1) ещё более строгое: $K_1 m_1 h_1^2 / K_2 m_2 h_2^2 < 0,77$. Отбор в «неблагоприятную» группу осуществлялся по более строгому критерию $K_1 m_1 h_1^2 / K_2 m_2 h_2^2 > 1,3$. На рисунке 2 представлены две характеристики вытеснения для рассматриваемых групп скважин.

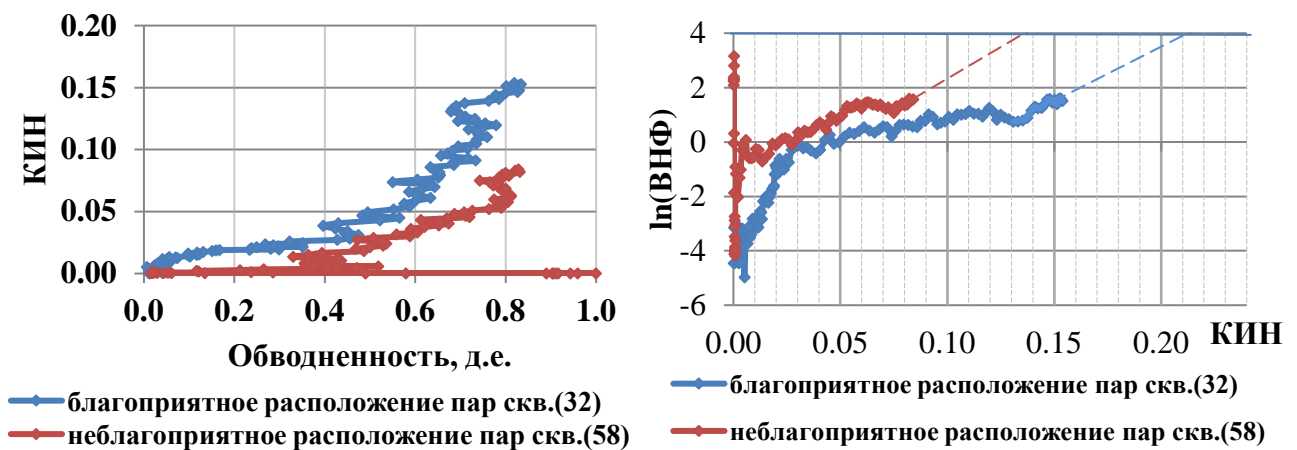


Рисунок 2 – Характеристики вытеснения для групп скважин с благоприятным (синяя кривая) и неблагоприятным (красная кривая) взаимным расположением.

Основной фонд скважин объекта Ю1-2 месторождения Северные Бузачи

На всех графиках взаимное расположение кривых свидетельствует о более эффективной выработке запасов в «благоприятной» группе. На графике, построенном в осях $\ln(VНФ)$ – КИН, выполнена оценка прогнозного КИН по группам. Из нее следует, что ожидаемый КИН для «благоприятной» группы составляет 0,21, а для «неблагоприятной» – 0,14.

В работе также показано, что критерий (1) является более корректным, чем критерий взаимного размещения добывающих и нагнетательных скважин относительно зон с различной проницаемостью (2):

$$K_1 < K_2, \quad (2)$$

где K – проницаемость; индексом 1 обозначена зона нагнетания, индексом 2 – зона добычи. В условиях разработки месторождения Северные Бузачи критерий (2) практически не разделяет характеристики вытеснения двух групп между собой и соответственно его можно признать некорректным.

В третьем разделе третьей главы рассматриваются вопросы, связанные с влиянием водонапорного горизонта на показатели выработки запасов по участкам первого объекта месторождения Северные Бузачи. С помощью уравнения материального баланса были рассчитаны коэффициенты продуктивности водоносного горизонта (аквифера) по элементам разработки.

Показано, что активность аквифера играет ключевую положительную роль в выработке запасов (рисунок 3).

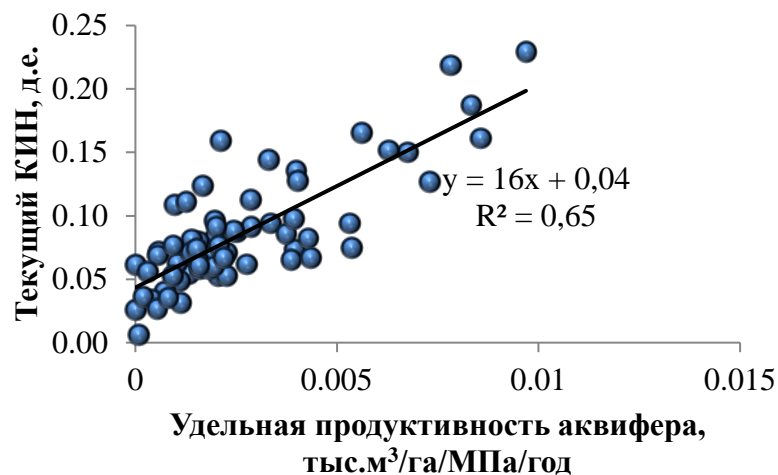


Рисунок 3 – Зависимость текущего КИН от удельной продуктивности аквифера по участкам I объекта м/р СБ

Предложен коэффициент эффективности по вытеснению нефти, который численно равен отношению текущего КИН к доле прокаченного нефтенасыщенного порового объема от закачиваемой воды (эффективность закачиваемого агента) или к доле замещенного нефтенасыщенного порового объема внешней пластовой водой (законтурной или подстилающей). Чтобы

добыть 1 м³ нефти, необходимо закачать около 4 м³ воды или, чтобы в нефтенасыщенный пласт поступило менее 2 м³ внешней пластовой воды.

В четвертой главе рассмотрены вопросы выработки запасов в условиях тектонической неоднородности юрских горизонтов (Ю1 и Ю2) месторождения Северные Бузачи.

При анализе разработки месторождения Северные Бузачи по данным работы скважин, также по другим исследованиям было отмечено, что коллектор наиболее вероятно представляет собой порово-трещиноватую среду.

Трещиноватое и разуплотненное строение пласта существенно сказывается на технологических показателях работы скважин. Однако с помощью сейсмоки практически невозможно распознать большинство трещин, так как они слишком малы для такого метода с низкой разрешающей способностью. Поэтому зная, как откликается работа скважин на тектоническое строение продуктивного горизонта, можно попробовать решить обратную задачу по восстановлению зон трещиноватости. Для этого в работе использовался многокритериальный анализ по данным работы и исследований скважин. В ходе многочисленных исследований в качестве критериев для идентификации типа строения коллектора были выбраны следующие показатели:

- высокое значение среднего дебита по нефти добывающих скважин (20 т/сут или превышение среднего значения более чем в 1,55);
- неустойчивость динамики (многократное относительное изменение дебита по нефти ≥ 2 месяцам в году).

На основе этих двух параметров был получен комплексный критерий аномальной работы скважин. С помощью статистического анализа доказано, что расположение этих скважин приурочено к зонам повышенных значений сейсмических атрибутов антикогерентности и анттрекинга антикогерентности, характеризующих разуплотненные зоны и зоны с повышенной степенью трещиноватости.

Для эффективного решения задач оптимизации расстановки скважин в условиях формирующейся системы заводнения предложен критерий выделения аномальных нагнетательных скважин по отношению устьевого давления

нагнетания к приемистости. Это отношение по физическому смыслу характеризует величину фильтрационного сопротивления пласта, которая соответствует обратному значению продуктивности скважины.

Также на примере описания флюидодинамической системы по участку на северо-востоке VI блока первого объекта месторождения Северные Бузачи показано, что в зоне наибольшей концентрации линеаментов в районе рассматриваемого участка наблюдается и наибольшая концентрация аномальных скважин.

В работе сформирована принципиальная геолого-технологическая модель анализируемого участка. Она представляет собой систему, состоящую из двух разнопроницаемых компонентов: канально-дренажной среды (КДС) и блоковой среды (БС), которые в определённых условиях могут обмениваться между собой флюидами. Система осложнена влиянием на неё водоносного горизонта.

На примере участка в северо-восточной части VI блока было показано, что кратковременное снижение темпов отбора жидкости благоприятно отразилось на дебитах по нефти. Последующая интенсификация отборов даёт импульсный всплеск добычи нефти с дальнейшим значительным ее снижением.

В пятой главе определены закономерности влияния пластовых неоднородностей на выработку запасов нефти с целью оптимизации системы разработки месторождения.

В первом разделе с помощью обученных деревьев решающих правил даны рекомендации по бурению 13 из 22 проектных уплотняющих скважин второго объекта месторождения Кумколь. Используя эти данные, недропользователь может повысить среднее значение входного дебита по нефти на 7 т/сут - с 20 до 27.

Во втором разделе приводятся предложения по трансформации системы заводнения первого объекта месторождения Северные Бузачи. На основе критерия оптимального взаимного размещения добывающих и нагнетательных скважин (1) рекомендуется перевести 48 добывающих скважин под закачку воды, а на семи нагнетательных - приостановить закачку воды.

В третьем разделе предлагаются рекомендации по оптимальной компенсации добычи жидкости закачкой воды по 94 участкам первого объекта месторождения Северные Бузачи.

В четвертом разделе пятой главы даны рекомендации по оптимизации системы разработки по участку на северо-востоке VI блока первого объекта месторождения Северные Бузачи с учетом влияния на него активного водонапорного горизонта и тектонических нарушений. С целью восстановления динамического равновесия между темпами отборов, интенсивностью закачки воды, скоростью массообмена в трещинно-блоковой системе и активностью водонапорного режима предлагается трансформировать систему заводнения и поэтапно снизить отборы и объемы закачки по участку до оптимальных уровней.

Для подтверждения ожидаемого технологического и экономического эффекта приводятся положительные примеры временных остановок негативно влияющих нагнетательных скважин на аномальные добывающие. Одним из таких примеров может служить динамика дебита по нефти и обводненности по добывающей скважине № 42 и закачке воды по нагнетательной скважине № 644 (рисунок 4).

Из рисунка 4 видно, что после остановки закачки воды в нагнетательную скважину в июне 2012 г. (вертикальная красная линия) отмечается рост дебита по нефти с 3 до 14 т/сут и снижение обводненности с 95 до 76 %.

Подтверждением положительного влияния остановки нагнетательной скважины 644 в июне 2013 года на работу добывающей скважины № 42 является излом характеристики в этот период в сторону увеличения извлекаемых запасов с 40 до 49 тыс. т, то есть на 9 тыс. т. Прирост КИН составил с 0,18 до 0,22.

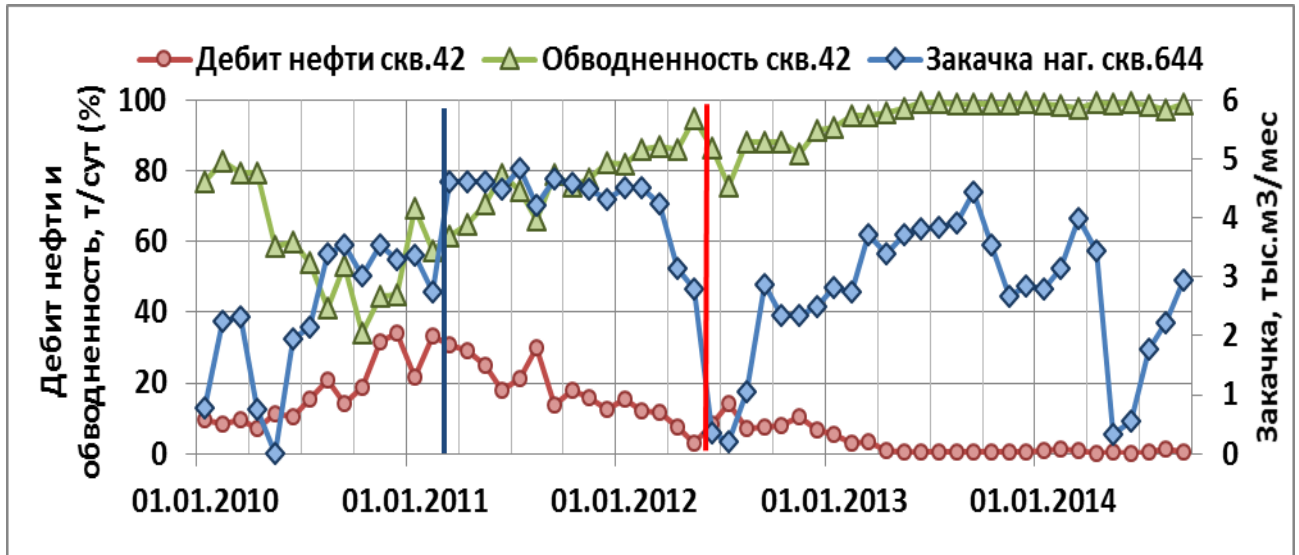


Рисунок 4 – Динамика закачки воды в нагнетательную скважину 644 и дебита по нефти и обводненности по добывающей скважине 42

Дополнительная добыча нефти при временном отключении нагнетательной скважины 644 составила 0,85 тыс. тонн, а длительность эффекта - 8 месяцев.

Ожидается, что прогнозная добыча нефти по оптимизированному варианту выше, чем по базовому в течение всего срока разработки до окончания лицензии. В среднем по оптимизированному варианту добыча нефти возрастет в среднем на 14 тыс. т/год, а обводненность снизится в среднем на 5 %.

Экономическая оценка эффективности рекомендуемой трансформации показывает, что дисконтированный доход от рекомендуемых мероприятий составит около \$33 млн и поможет стать разработке участка экономически рентабельной даже при цене \$50 за 1 баррель нефти.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В работе было показано, что в настоящее время вопросы, связанные с влиянием горно-геометрической, зональной и тектонической неоднородностей на показатели работы скважин и выработки запасов приобретают особую значимость в связи с преждевременным обводнением добывающих скважин и недостаточной степенью выработки запасов. Приведенные в работе результаты исследований позволили ответить на ряд важных вопросов, связанных с разработкой горизонтов Ю1 и Ю2 месторождений Кумколь и Северные Бузачи.

Были сформулированы основные выводы и рекомендации, представленные ниже.

1 Аналитический обзор научно-технической литературы по проблемам разработки и особенностям геологического строения высокопродуктивных неоднородных коллекторов указывает на необходимость учета степени активности аквифера на различных стадиях разработки нефтяной залежи.

Оптимальными методами разработки нефтяных залежей являются:

- разработка на естественном водонапорном режиме при высокой активности аквифера;
- разработка с поддержанием пластового давления и вытеснением нефти рабочим агентом при низкой активности аквифера;
- создание избирательной системы разработки, направленной на максимизацию темпов и полноту выработки запасов в условиях зонально и тектонически неоднородного коллектора. При этом закачку вытесняющего агента рекомендуется осуществлять в блоковую среду с невысокой проницаемостью и отсутствием тектонических нарушений, а добычу из высокопроницаемой канально-дренажной системы;
- вертикальное вытеснение путем закачки вытесняющего агента в локальные прогибы, а добыча из локальных поднятий для легких нефтей;

2 Анализ геологического строения и состояния выработки запасов горизонтов Ю1 и Ю2 месторождения Кумколь и Северные Бузачи показал:

- высокое влияние горно-геометрической неоднородности строения второго объекта месторождения Кумколь: в скважинах, размещенных в локальных поднятиях, наблюдаются более высокие НИЗ, меньшая выработка запасов, а также меньшая начальная и текущая обводненности по сравнению со скважинами, размещенными в локальных прогибах;

- высокое влияние зональной неоднородности первого объекта месторождения Северные Бузачи на степень выработки запасов нефти по 94 участкам, наличие развитой системы трещин (зон разуплотнения) по совокупности имеющихся данных (сейсмические атрибуты, реакция на региональные сейсмические события, технологические показатели эксплуатации скважин, трассерные исследования, ГДИС, керновый материал), существенное расхождение значений конечного КИН по проектным документам и по ХВ.

3 Показано, что начальные извлекаемые запасы по пробуренным и переведенным скважинам горизонтов Ю1 и Ю2 месторождения Кумколь в локальных поднятиях выше, чем в локальных прогибах. Поэтому учет мини-антиклинальных структур, к которым приурочены остаточные скопления нефти с низкой плотностью, позволяет на поздней стадии разработки залежей давать более точный прогноз технологических показателей работы уплотняющих скважин.

4 На основе выявленных особенностей геологического строения и текущего состояния разработки месторождения Северные Бузачи показано, что в зонально-неоднородном пласте, насыщенном высоковязкой нефтью, размещение нагнетательных скважин в зонах с меньшими значениями коэффициентов пористости, проницаемости и с меньшими эффективными толщинами коллектора, а добывающих скважин в высокопроницаемых высокопористых зонах с большей эффективной толщиной коллектора, при всех прочих равных условиях позволяет достичь большей выработки запасов нефти. Численно значение критерия

составляет $\frac{K_1 m_1 h_1^2}{K_2 m_2 h_2^2} \frac{K_1 m_1 h_1^2}{K_2 m_2 h_2^2} < 0,77$.

Данный критерий применим для месторождений с зональной неоднородностью литолого-фациальной и трещиноватой природы.

Показано, что неустойчивость динамики и высокое значение дебитов по нефти добывающих скважин, а также низкое отношение устьевого давления к приемистости нагнетательных скважин, являются критериями выявления высокопродуктивных зон разуплотнения и тектонических деструкций коллектора. Результаты, полученные в диссертационной работе, связанные с оптимальным взаимным размещением добывающих и нагнетательных скважин в условиях тектонически разуплотненных коллекторов юрских отложений месторождения Северные Бузачи, позволили получить технологический эффект 4,2 тыс. тонн дополнительной добычи нефти по 3 добывающим скважинам за 9 месяцев, и этот эффект сохраняется.

Установлены причины снижения эффективности системы разработки при совместном воздействии системы заводнения и активных зон аквифера. Показано, что неучет вклада всех источников пластовой энергии влияния приводит к ускоренному обводнению добываемой продукции и снижению темпов отбора нефти и КИН.

5 Рекомендации по оптимизации системы разработки включают следующие геолого-технические мероприятия:

- по второму объекту месторождения Кумколь опережающее бурение 13 уплотняющих скважин, точки бурения которых определены с помощью обученных деревьев решающих правил, позволяют сократить количество уплотняющих скважин на 9 единиц и повысить начальный дебит скважин по нефти с 20 до 27 т/сут;

- по первому объекту месторождения Северные Бузачи определены оптимальные уровни компенсации отборов жидкости закачкой воды на отдельных ячейках заводнения;

- отключение нагнетательных скважин, размещенных в зонах деструкции и разуплотнения, которые привели к интенсивному обводнению окружающих добывающих скважин. Ожидаемый эффект на участке, состоящем из 33 скважин, составляет около 115 тыс. тонн дополнительно добытой нефти за 8 лет разработки (прирост КИН около 1 %), снижение обводненности на 5 %; чистый дисконтированный доход около \$ 10 млн.

Основные результаты работы опубликованы в следующих научных трудах:

Ведущие рецензируемые научные журналы

1 Исследование эффективности взаимного расположения нагнетательных и добывающих скважин в зонально-неоднородном нефтяном пласте / *П.Н. Соляной, О.Н. Пичугин, С.П. Родионов, В.П. Косяков* // Нефтяное хозяйство, 2012. – № 8. – С. 126 - 128.

2 Пичугин, О.Н. Влияние водонапорного режима на выработку запасов высоковязкой нефти / *О.Н. Пичугин, П.Н. Соляной* // Нефтепромысловое дело. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2013. – № 11. – С. 13 - 17.

3 Влияние современной геодинамической обстановки на технологические показатели работы скважин месторождения Северные Бузачи / *О.Н. Пичугин, Д.М. Александров, Е.Ю. Горюнов, Г.Г. Кошеверов, А.А. Зеленая, Н.Л. Лейбенко, П.Н. Соляной, С.В. Амелькин* // Вестник ЦКР Роснедра, 2014. – № 2. – С. 28-36.

4 Моделирование периодической эксплуатации добывающей скважины, эксплуатирующей послойно-неоднородный по проницаемости пласт залежи высоковязкой нефти / *И.В. Владимиров, О.Н. Пичугин, П.Н. Соляной, А.И. Хисаева* // Вестник ЦКР Роснедра, 2015. - № 1. – С. 23-29.

5 Пичугин, О.Н. Совершенствование систем разработки месторождений на основе комплексного анализа информации о малоамплитудных тектонических нарушениях/ *О.Н. Пичугин, П.Н. Соляной, А.С. Гаврись и др.* // Нефтепромысловое дело. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2015. – № 11. – С. 5–15.

Прочие печатные издания

6 Принципы оптимизации систем заводнения месторождений, осложненных малоамплитудными тектоническими нарушениями / *О.Н. Пичугин, С.П. Родионов, П.Н. Соляной* и др., ООО КОНКОРД, Тюменский филиал ИТПМ им. Христиановича СО РАН // Российская нефтегазовая техническая конференция SPE – 26 - 28 октября, 2015. - Москва, Россия: Общество Инженеров Нефтяников. - 26 с. - SPE-176697-MS.

7 Родионов, С.П. Исследование эффективности различных схем расстановки скважин в зонально-неоднородном нефтяном пласте / *С.П. Родионов,*

П.Н. Соляной, В.П. Косяков // Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Часть III. Аэрофизика и космические исследования. Т. 2. – М.: МФТИ, 2010. – С. 137 – 139.

8 *Соляной, П.Н. Математическое моделирование эффективности различных схем расстановки скважин в зонально-неоднородном нефтяном пласте / П.Н. Соляной, В.П. Косяков // Труды IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России». - 30 января – 1 февраля 2012 г. - М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – С. 67.*

9 *Пичугин, О.Н. От «работы над ошибками» – к прогнозированию эффективности мероприятий / О.Н. Пичугин, П.Н. Соляной, Ю.З. Фатихова // Нефть. Газ. Новации, 2012. – № 3. – С. 28-31.*

10 *Принципы оптимизации систем разработки нефтяных месторождений с учётом пластовых и флюидальных неоднородностей / П.Н. Соляной, О.Н. Пичугин, Г.Г. Кошеверов, А.С. Гавришь; ООО «Конкорд», Москва // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа» – 2015: Издательство Московского университета, 2015. – С. 206.*

11 *Соляной, П.Н. К вопросу оптимального взаимного расположения нагнетательных и добывающих скважин в зонально-неоднородном пласте / П.Н. Соляной, О.Н. Пичугин, С.П. Родионов // Материалы III Международного симпозиума «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов». - Москва. - ОАО «ВНИИнефть». - 20 - 21 сентября 2011. - Т. 2. С. 94 - 98.*