На правах рукописи

РЫБАКОВ Акрам Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОБЫВАЕМОЙ НЕФТИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РОМАШКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Бугульма – 2019

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ)

Научный руководитель	доктор технических наук, доцент **Гуськова Ирина Алексеевна**
Официальные оппоненты	**Ленченкова Любовь Евгеньевна** – доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ), кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений», профессор **Магадова Любовь Абдулаевна** – доктор технических наук, ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», «Базовая кафедра технологий повышения нефтеизвлечения для объектов с осложненными условиями», профессор
Ведущая организация	**ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»**

Защита состоится «31» октября 2019 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 222.018.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина по адресу: 423236, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М.Джалиля, д.32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти и на сайте tatnipi.ru

Автореферат разослан «___»_____ 2019 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета **Львова Ирина Вячеславовна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы

Одной из основных проблем разработки нефтяных месторождений на поздней стадии является мониторинг выработки остаточных запасов нефти. На поздней стадии разработки, характеризующейся значительным ростом обводнённости продукции, снижением темпов добычи нефти, большое внимание уделяется повышению эффективности методов увеличения нефтеизвлечения и воздействия на призабойную зону скважин (ПЗС). Гидравлический разрыв пласта (ГРП) в добывающих и нагнетательных скважинах является одной из эффективных технологий повышения нефтеизвлечения, вовлечения в разработку низкопроницаемых зон и пропластков. ГРП не только интенсифицирует выработку запасов, находящихся в зоне дренирования скважины, но и при определенных условиях существенно расширяет эту зону, приобщив к выработке слабодренируемые участки и прослои пласта, и, следовательно, позволяет достичь более высокого конечного нефтеизвлечения.

Актуальным направлением для повышения эффективности длительно разрабатываемых нефтяных месторождений с применением технологии ГРП является оценка эффективности с точки зрения классификационной направленности воздействия технологии и качества вовлекаемых запасов нефти в результате гидроразрыва пласта.

Оценка технологической эффективности, как правило, проводится после проведения ГРП по текущему дебиту в течение года (дополнительно добытой нефти за счёт повышения нефтеизвлечения) и снижению обводненности. Данный метод требует длительного времени для оценки. Точность оценки дополнительно добытой нефти определяется адекватностью модели, аппроксимирующей добычу на прогнозируемый период. Кроме непосредственной оценки дополнительно добытой нефти, необходимо знание метода, за счет которого обеспечивается технологический эффект. Требуется комплексный метод оценки качества вовлекаемых запасов нефти в результате проведения ГРП на месторождениях на поздней стадии разработки с системой заводнения и высокими остаточными запасами. Рекомендуется применение комплексного контроля за процессом ГРП с использованием оптических методов.

Данная диссертационная работа посвящена исследованию процессов разработки терригенных отложений девона с использованием технологии гидравлического разрыва пласта на основе оптических методов исследования в комплексе с анализом геолого-технической информации, физико-химических свойств и компонентного состава добываемой нефти.

Таким образом, тема работы является актуальной, поскольку предложенные в ней подходы позволяют более адресно проводить ГРП на поздней стадии разработки нефтяных месторождений и получать дополнительную добычу нефти.

Степень разработанности темы

Технология гидравлического разрыва пласта ведет свое начало с середины прошлого века и в настоящее время хорошо изучена и успешно внедрена на месторождениях России и странах зарубежья. В становление и развитие технологии значительный вклад внесли следующие ученые: Амиров А.Д., Васильев В.А., Желтов Ю.П., Ибатуллин Р.Р., Каневская Р.Д., Максимович Г.К., Муравьев И.М., Муслимов Р.Х., Насыбуллин А.В., Салимов В.Г., Салимов О.В., Хисамов Р.С., Хисамутдинов Н.И., Христианович С.А., Щуров В.И., John Ely, Clark J.B., Hubbert M.K., Willis D.G. и др. Практика применения оптических методов исследования нефти рассматривалась в работах таких исследователей, как Абезгауз И.М., Амерханов М.И., Бабалян Г.А., Березин В.М., Блажевич Ф.Д., Булатов М.И., Ганеева Ю.М., Гильманшин А.Ф., Глумов И.Ф., Гуськова И.А., Девликамов В.В., Евдокимов И.Н., Ибатуллин Р.Р., Ибрагимов Н.Г., Латышев А.А., Лосев А.П., Мархасин И.Л., Петрова Л.М., Романов Г.В., Слесарева В.В., Хисамов Р.С., Юсупова Т.Н. и др. Однако, применение оптических методов для оценки эффективности воздействия технологии ГРП изучено недостаточно. Среди последних работ по данной теме можно назвать работу коллектива авторов: Ибатуллин Р.Р., Слесарева В.В., Амерханов М.И. и др.

Цель диссертационной работы: повышение эффективности разработки остаточных запасов нефти терригенных отложений Ромашкинского месторождения на основе исследований изменения оптических свойств нефти в результате проведения гидравлического разрыва пластов.

Задачи исследований:

1. Проанализировать способы оценки эффективности технологии ГРП как метода вовлечения в разработку остаточных запасов нефти. Выполнить анализ оптических методов контроля процессов разработки нефтяных месторождений.
2. Разработать методику комплексного анализа по оценке качества запасов нефти (преобразованные и непреобразованные), вовлекаемых в разработку при проведении ГРП, и классификационной направленности воздействия технологии гидроразрыва.
3. Исследовать динамику и установить взаимосвязь между технологическими характеристиками работы скважин, изменениями оптических характеристик, физико-химическими свойствами и компонентным составом добываемой нефти до и после проведения ГРП.
4. Усовершенствовать методологический подход к прогнозированию назначения повторного ГРП.

Методы исследований

Решение поставленных задач основываются на проведении теоретических, лабораторных и промысловых исследований. Работа выполнена в соответствии со стандартными экспериментальными

методами, а также с использованием специально разработанных методик. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью методов математической статистики.

Научная новизна работы:

1. Экспериментально подтверждено влияние гидравлического разрыва пласта на изменение оптической плотности добываемой нефти терригенных отложений девона для оценки классификационной направленности воздействия: метод повышения нефтеизвлечения (увеличение коэффициента охвата) или метод интенсификации разработки (увеличение текущего отбора нефти).
2. Установлена зависимость между технологическими показателями работы скважины, коэффициентом светопоглощения, физико-химическими свойствами и компонентным составом нефти, которая позволяет реализовать индивидуальный подход при классификации ГРП как метода воздействия на пласт.
3. Предложено на основании исследований оптической плотности проб нефти добывающих скважин после проведения ГРП, при увеличении значения коэффициента светопоглощения ($K_{сп}$) классифицировать технологию ГРП, как метод интенсификации добычи текущих запасов преобразованной нефти. При снижении значения $K_{сп}$ добываемой нефти после ГРП предложено классифицировать технологию в добывающих скважинах, как метод повышения нефтеизвлечения за счет мобилизации остаточной непреобразованной нефти. Установлено влияние ГРП в нагнетательных скважинах на снижение значения коэффициента светопоглощения добываемой нефти по реагирующим скважинам, что позволяет подтвердить мобилизацию остаточной непреобразованной нефти и классифицировать ГРП, как метод повышения нефтеизвлечения.
4. По результатам промысловых и экспериментальных исследований установлено соответствие динамики оптической плотности нефти технологическим показателям работы скважин после гидроразрыва и возвращения среднего значения коэффициента светопоглощения к исходному значению до проведения первичного ГРП. На основе полученных зависимостей предложена методика повышения точности прогнозирования назначения повторного ГРП.

Защищаемые научные положения:

1. Комплексная методика оценки характера преимущественного направления воздействия технологии ГРП при извлечении остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти (метод интенсификации разработки или метод повышения нефтеизвлечения), как метода определения назначения операции и контроля за эффективностью проведения ГРП.
2. Результаты экспериментальных и промысловых исследований применения комплексного метода определения изменений оптических свойств нефти в результате проведения гидроразрыва пласта и

усовершенствование методологического подхода прогнозирования назначения повторного ГРП.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием специализированного оборудования и приборов, высокой сходимостью расчетных и экспериментальных величин, воспроизводимостью полученных данных.

Практическая значимость работы:

В диссертационной работе разработана универсальная комплексная методика для оценки характера преимущественного направления воздействия технологии ГРП при извлечении остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти. Результаты проведенных лабораторных исследований по данной методике позволяют реализовать индивидуальный подход при классификации ГРП как метода воздействия на пласт.

Предложена новая методика, позволяющая повысить точность прогнозирования назначения повторного ГРП, обеспечивающая дополнительную добычу нефти, на основе спектрофотометрического метода исследования проб нефти до и после проведения первичного ГРП, которая защищена патентом РФ №2568450 от 05.05.2014 г.

Разработанная методика обладает универсальностью для применения на терригенных отложениях нефтяных месторождений, что подтверждено на примере Павловской, Зеленогорской, Северо-Альметьевской, Миннибаевской, Березовской площадях Ромашкинского месторождения Республики Татарстан.

Результаты исследования использованы при выполнении работ по договору №7-12 от 01.01.12 г. по теме «Анализ изменения свойств добываемой нефти в результате проведения ГРП» между Альметьевским государственным нефтяным институтом и ПАО «Татнефть», совместно с ИОФХ им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра РАН.

Разработанная комплексная методика анализа была использована в проводимых исследованиях по НИОКР «Анализ добываемой продукции скважин доманиковых отложений ПАО «Татнефть» для изучения динамики свойств нефти в процессе эксплуатации скважин» (ПАО «Татнефть», 2016 г.).

Материалы диссертационной работы рекомендованы и использованы в учебном процессе кафедры РиЭНГМ АГНИ для направления «Нефтегазовое дело» при изучении дисциплин «Скважинная добыча нефти», «Реагенты и технологии ОПЗ», «Реагенты и технологии МУН», «Взаимовлияние технологий».

Апробация работы

Основные положения, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации работы докладывались на 17 внутривузовских, региональных, всероссийских и

международных выставках, форумах и конференциях: 66-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2012» (Москва, 17-20 апреля 2012 г.); Научная сессия учёных Альметьевского государственного нефтяного института (Альметьевск, 26-27 апреля 2012 г.); VI научно-техническая конференция «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири» (Тюмень, 16 мая 2012 г.); Семинар ЦСМС ОАО «Татнефть», секция «Геология, разработка нефтяных и газовых месторождений», НГДУ «Елховнефть» (Альметьевск, 22 марта 2013 г.); 67-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2013» (Москва, 9-12 апреля 2013 г.); X международный молодежный нефтегазовый форум (Алматы, Казахстан, 13-14 апреля 2013 года); Региональная научно-практическая конференция «Научная сессия ученых АГНИ» (Альметьевск, 22-26 апреля 2013 г.); Молодежная научно-практическая конференция НГДУ «Альметьевнефть» ОАО «Татнефть», секция «Геология, разработка нефтяных и газовых месторождений», (Альметьевск, 7 мая 2013 г.); Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии» (Казань, 4-6 сентября 2013 г.); X Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (Москва, 10-12 февраля 2014 г.); 68-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2014» (Москва, 14-16 апреля 2014 г.); Всероссийская научно-практическая конференция в рамках научной сессии ученых АГНИ «Нефтегазовый комплекс: образование, наука и производство» (Альметьевск, 14-18 апреля 2014 г.); Международная научно-практическая конференция «Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы углеводородов: опыт и прогнозы» (Казань, 3-4 сентября 2014 г.); «Российская техническая нефтегазовая конференция и выставка SPE по разведке и добыче» (Москва, 14-16 октября 2014 г.); Всероссийская школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века» (Казань, 11-12 декабря 2014 г.); 69-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2015» (Москва, 14-16 апреля 2015 г.); Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан: «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (Альметьевск, 26-29 сентября 2016 г.)

Публикации

По теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, и получен 1 патент РФ.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, из 188

наименований, 5 приложений. Материал диссертации изложен на 163 страницах машинописного текста, включает 52 таблицы и 48 иллюстраций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы, обосновывается её актуальность, определяется цель, идея, задачи, излагаются научная новизна, защищаемые научные положения и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ современного состояния и оценка эффективности проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП), а также анализ оптических методов контроля процессов разработки нефтяных месторождений. Обоснована актуальность диссертационных исследований, посвященных исследованию процессов разработки терригенных отложений девона с использованием технологии гидравлического разрыва пласта на основе оптических методов исследования.

На основе анализа научно-технической литературы выявлено, что для оценки эффективности методов увеличения нефтеизвлечения и ОПЗ существует большое количество методик, при этом отсутствуют методики оценки классификационной направленности воздействия технологии ГРП, как метода интенсификации или увеличения нефтеизвлечения.

Показано, что технологическое воздействие на пласт в процессе разработки оказывает существенное влияние на изменение состава и свойства остаточной нефти. В работах Р.Х. Муслимова, Р.Р. Ибатуллина, Г.В. Романова, Л.М. Петровой и др. приведено качественное разделение остаточных запасов нефти на преобразованные и непреобразованные. При этом Г. Пол Уиллхайт и др. показали в своих работах, что остаточная нефть в пористой среде существует в виде изолированных ганглиев в защемленном состоянии, мобилизация которой возможна либо при увеличении сил вязкости, либо при уменьшении сил межфазного взаимодействия.

Изучение существующих методов контроля за разработкой нефтяных месторождений показало перспективность применения оптических исследований. При этом для контроля процессов воздействия на пласт, в том числе при реализации технологии ГРП, отсутствуют комплексные методики на основе спектрофотометрии, позволяющие оценить качество вовлекаемых запасов нефти.

Во второй главе приведено обоснование выбора объектов исследований. Проведен анализ рассматриваемых объектов девонских отложений Ромашкинского месторождения (Павловская, Зеленогорская, Миннибаевская, Березовская и Северо-Альметьевская площади).

Компания ПАО «Татнефть» в последние годы уделяет особое внимание технологии ГРП, расширяя объемы внедрения в низкопроницаемых терригенных и карбонатных коллекторах, как в

добывающих, так и в нагнетательных скважинах, применяя различные разновидности данной технологии.

На выбранных объектах для проведения исследований по изменению оптических свойств нефти в результате проведения гидравлического разрыва пласта подобран фонд скважин с учетом того, чтобы не были проведены в течение последних трех лет на данном фонде методы увеличения нефтеизвлечения, не производился дострел пластов, не включались в разработку новые пласты, на реагирующих скважинах не были проведены методы увеличения нефтеизвлечения в течение года, что могло «нарушить чистоту» проводимых исследований и экспериментов. Также учитывались критерии подбора скважин-кандидатов для проведения ГРП.

Обоснована и разработана программа отбора проб с рекомендованных скважин для проведения исследований изменения оптических свойств нефти в результате ГРП, а также была предложена и усовершенствована комплексная методика оценки изменения оптических свойств в результате гидравлического разрыва пласта на степень преобразованности запасов нефти, и, как следствие, новый подход к оценке технологической эффективности ГРП и классификационной направленности его воздействия.

Выбранные исследуемые объекты девонских отложений Ромашкинского месторождения характеризуются резким изменением литолого-физических характеристик, высокой степенью выработанности, обводненности и долей трудноизвлекаемых запасов нефти, что предопределяет разработку и внедрение экпресс-метода оценки качества вовлекаемых запасов нефти при гидроразрыве пласта, классификационной направленности его воздействия, а также для повышения точности прогнозирования назначения проведения повторного ГРП.

В третьей главе разработана и обоснована программа и комплексная методика проведения исследований**.** Все исследования, эксперименты и испытания проводились по разработанной программе, включающей в себя три этапа исследований. На первом этапе в период с 2011 по 2012 год проводились комплексные исследования ГРП на добывающих скважинах (Павловская и Зеленогорская площади): спектрофотометрические исследования нефти, определение плотности и кинематической вязкости нефти, содержания воды и компонентов в добываемой нефти, изучение состава нефти методом термического анализа и газожидкостной хроматографии. На втором этапе исследований (2012-2013 г.) проводились оптические исследования изменения свойств нефти реагирующих добывающих скважин от ГРП на участках нагнетательных скважин (Павловская и Зеленогорская площади). Третий этап диссертационных исследований (2014 г.) включал спектрофотометрические исследования, а также определение изменений плотности и динамической вязкости добываемой нефти в результате

проведения ГРП на добывающих скважинах (Миннибаевская, Березовская и Северо-Альметьевская площади).

По разработанной программе проведения экспериментов проводился отбор проб по выбранным скважинам-кандидатам до и после проведения ГРП (не менее 60 календарных дней до проведения ГРП и не менее 120 календарных дней после проведения ГРП с интервалом 1 раз в неделю). Каждая проба предоставлялась в плотно закрытой стеклянной или пластиковой таре объёме не менее 200 мл (нефтяная часть пробы).

Все эксперименты по оценке изменения свойств нефти до и после ГРП были проведены с использованием сертифицированного оборудования, приборов, вспомогательных устройств, материалов и реактивов по ГОСТ и ТУ: центрифуга ОПн-3м, спектрофотометр СФ-102, ротационный вискозиметр Rheotest RN4.1, капиллярный вискозиметр ВПЖ-3 (ГОСТ 33-2000), пикнометры (ГОСТ 3900-85), воронка ВД-1-500 ТС (ГОСТ 25336-82), стеклянные пробирки (ГОСТ 1770-74), пипетки (ГОСТ 29227-91), фильтровальная обеззоленная бумага «Синяя лента» (ТУ 6-09-1678-77), толуол (ГОСТ 5789-78).

Исследования проб нефти проводились в растворенном состоянии, так как содержащиеся в нефти асфальтены являются основными цветоопределяющими и склонными к ассоциации соединениям. Поэтому использовался органический растворитель с хорошей растворяющей способностью по отношению к асфальтенам в нефти. В качестве осадителя и растворителя асфальтенов применялся толуол. При этом нефть вводится в объём толуола малыми порциями («титрованием толуола нефтью», Евдокимов И.Н.), что облегчает распространение нефти по образцу, и агрегаты асфальтенов практически мгновенно оказываются в окружении молекул растворителя. После растворения, пробирка с раствором тщательно встряхивалась, плотно закрывалась крышкой и выжидалось определённое время, но не более 15 минут, далее проводились исследования.

Согласно программы и методики исследования, все пробы нефти, отобранные до и после ГРП, проходили единую пробоподготовку. После предварительного обезвоживания отстаиванием в делительной воронке ВД-1-500 ТС, пробы центрифугировались на центрифуге ОПн-3м (изготовлена по ГОСТ 15150-69) с частотой оборотов 2500 об/мин в течение 30 мин.

После центрифугирования для дальнейшего этапа пробоподготовки производился отбор проб обезвоженной нефти в объеме 0,08 мл из верхней части пробирок с помощью пипетки с глубины 2-4 мм, поскольку на поверхности образуется определенная «плёнка» с сильно изменёнными свойствами нефти.

Соотношение растворителя (толуола) и нефти для оптических исследований было выбрано следующим: для растворения 0,08 мл

отобранной обезвоженной нефти использовался чистый толуол в объёме 10 мл.

Предложена комплексная методика, которая включает в себя обязательные оптические исследования, а также ряд дополнительно проведенных анализов изменения состава и физико-химических свойств нефти, отобранных до и после проведения ГРП. Это позволяет, по результатам изменения оптических свойств нефти, оценить классификационную направленность ГРП как метода увеличения нефтеизвлечения или способа интенсификации добычи нефти. На первом этапе программы комплексных исследований был проведен широкий спектр анализов свойств нефти для выявления закономерности между произошедшими изменениями в результате ГРП и объемами добываемой нефти в динамике, чтобы оценить качество вовлекаемых в разработку остаточных запасов нефти. Второй этап исследований по программе включал в себя анализ изменения оптической плотности проб нефти добывающих-реагирующих скважин на участках нагнетательных скважин, на которых проводился ГРП. В дальнейшем, к третьему этапу программы методика исследований была усовершенствована, позволяя проводить экспресс-оценку дифференциации оптических свойств нефти в результате проведения гидроразрыва пласта. В результате комплекса проведенных лабораторных исследований предложена методика повышения точности прогнозирования назначения повторного ГРП, которая защищена патентом РФ №2568450 от 05.05.2014 г.

Согласно программы исследований, эксперименты по определению оптической плотности (светопоглощения) проб нефти проводились на приборе СФ-102. После процесса пробоподготовки готовились 8 стеклянных кювет с оптическим расстоянием 1 мм, при этом в первую кювету вводился толуол и его оптическая плотность принималась за «нулевой образец» и проводилась коррекция базовой линии. Затем для образцов растворов со второй по восьмую кювету исследовалась оптическая плотность в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм с шагом 1 нм, результаты обрабатывались с использованием специализированного ПО UVWIN, сохранялись в виде кривых поглощения, в виде таблицы соответствующих значений для дальнейшего построения кривых. Контроль точности результатов измерений осуществлялся по внутреннему оперативному контролю сходимости и воспроизводимости в соответствии с требованиями ГОСТ 3900-85. По полученным значениям оптической плотности в зависимости от выбранного значения длины волны определялся коэффициент светопоглощения образцов нефти по формуле (1) из соотношения Бугера-Ламберта-Бера:

$$K_{\text{сп}} = \frac{D}{0{,}4343 \cdot C \cdot l}, \tag{1}$$

где $K_{сп}$ – коэффициент светопоглощения, см$^{-1}$.

D – оптическая плотность вещества, д.ед.

C – концентрация измеряемого вещества, д.ед.

l – длина кюветы, см.

В исследованиях для оценки изменения оптических свойств нефти при ГРП использовались значения K_{cn} при длине волны 385 нм, рекомендованной как оптимальной по чувствительности и точности для нефти девонских отложений Ромашкинского месторождения.

По полученным значениям K_{cn} в динамике до и после ГРП по каждой исследуемой пробе нефти строились графики зависимостей от динамики изменения дебита нефти.

Дополнительно по исследуемым пробам нефти в лабораторных условиях определялись изменения компонентного состава и физико-химических свойств добываемой нефти в результате гидроразрыва пласта.

Применение оптических методов исследований нефти даёт новую дополнительную информацию о степени преобразованности запасов, вовлекаемых в разработку в результате проведения ГРП.

В четвертой главе приведены результаты апробации разработанной комплексной методики для оценки качества вовлекаемых запасов на основе промысловых исследований проведенных ГРП.

Цель комплексных исследований – определение метода, за счёт которого обеспечивается дополнительная добыча нефти при гидроразрыве пласта: за счёт улучшения вытеснения нефти интенсификацией добычи из пласта или за счёт увеличения охвата воздействием ранее невовлеченных в разработку запасов непреобразованной нефти. Известно, что остаточные запасы нефти можно разделить на преобразованные и непреобразованные (Р.Х. Муслимов, Р.Р. Ибатуллин, Г.В. Романов, Л.М. Петрова и др.). Изменение состава и физико-химических свойств добываемой нефти может быть значительным при проведении ГТМ, и это происходит за счёт вовлечения неохваченных в процессе разработки месторождения запасов нефти. В случае, если добываемая нефть будет характеризоваться большей плотностью, вязкостью, увеличенным содержанием смол, асфальтенов и другими изменениями, то можно сделать вывод, что в результате ГРП вовлеклись преобразованные остаточные запасы нефти. В случае если будет наблюдаться относительное увеличение содержания лёгких фракций углеводородов в добываемой нефти в результате ГРП, то можно сделать вывод о мобилизации непреобразованных в процессе разработки месторождения запасов нефти. Разработанная и предложенная программа комплексных лабораторных исследований состава и свойств добываемой нефти позволяет по изменениям коэффициента светопоглощения проб, зависящем от содержания хромофорных соединений в пробах, судить о характере запасов, обеспечивших прирост добычи нефти при ГТМ, а, следовательно, можно судить об эффективности и успешности проведения мероприятий по гидроразрыву пласта на примере терригенных отложений Ромашкинского месторождения.

Для первого этапа экспериментальных исследований были выбраны добывающие скважины №8420 (Зеленогорская площадь) и №28843 (Павловская площадь), на которых была применена технология большеобъёмного ГРП.

Суть комплексного исследования заключалась в параллельных анализах изменения, как оптических свойств нефти, так и компонентного состава и физико-химических свойств рассматриваемых проб до и после проведения ГРП, а также корреляция с изменениями количества добываемой нефти, оценка успешности и эффективности применяемого ГТМ с точки зрения качества вовлекаемых в разработку запасов нефти (преобразованная и непреобразованная нефть).

Анализ динамики оптических свойств нефти скважины №8420 показывает, что после выхода скважины на режим (после ГРП) произошло некоторое увеличение оптической плотности нефти, хотя среднее значение $K_{сп}$ уменьшилось всего на 13 см$^{-1}$ или на 1,8% (что значительно меньше среднеквадратичного отклонения). При этом наблюдается рост дебита нефти в 5 раз и снижение обводненности на 15 %. Это позволяет оценить ГРП в данной скважине в большей степени как технологию интенсификации текущего отбора остаточных запасов преобразованной нефти.

Далее продолжались исследования по определению водосодержания, компонентного состава нефти (рисунок 1, скважина №8420), проведен термический анализ и газожидкостная хроматография.

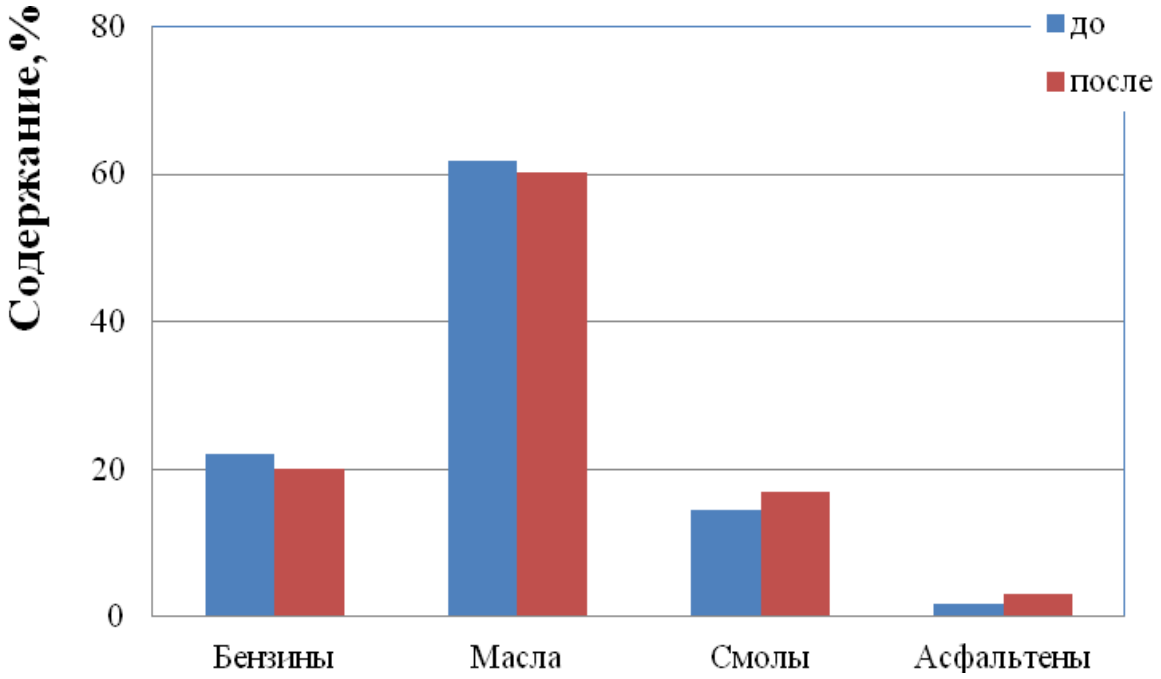

Рисунок 1 – Сравнительный анализ средних значений содержания компонентов в пробах нефти скважины №8420 до и после проведения ГРП

Из рисунка 1 видно, что происходит динамический характер изменения компонентного состава проб нефти, отобранных до и после ГРП. Это обусловлено использованием средних значений содержания

компонентов нефти. Анализ показывает, что в результате проведения ГРП в составе нефти уменьшается содержание бензиновых фракций (на 2%) и масел (на 1,4%), но, при этом, происходит обогащение смолами (на 2,3%) и асфальтенами (на 1,4% – почти в 2 раза). Таким образом, состав нефти после ГРП незначительно обогащен тяжелыми компонентами, за счет интенсификации добычи преобразованной нефти, что подтверждают выводы после комплексных оптических исследований и изменения физических свойств нефти.

Результаты термического анализа проб по скважине №8420 (рисунок 2) свидетельствуют об уменьшении содержания легких фракций в нефти после ГРП. Тоже наблюдается и для фракций, выкипающих до 200°С.

Распределение потерь массы по трем стадиям термоокислительной деструкции и значения показателя фракционного состава $F=\Delta m_1/(\Delta m_2+\Delta m_3)$ (с учетом всей навески нефти) и $F1$ (без фракций до 200°С) приведены на рисунке 2.

Сравнение средних значений этих величин показывает небольшое уменьшение содержания легких и незначительное увеличение средних фракций в нефти после ГРП, остальные характеристики практически не изменились. Таким образом, данные термического анализа свидетельствуют о довытеснении остаточной преобразованной нефти после ГРП.

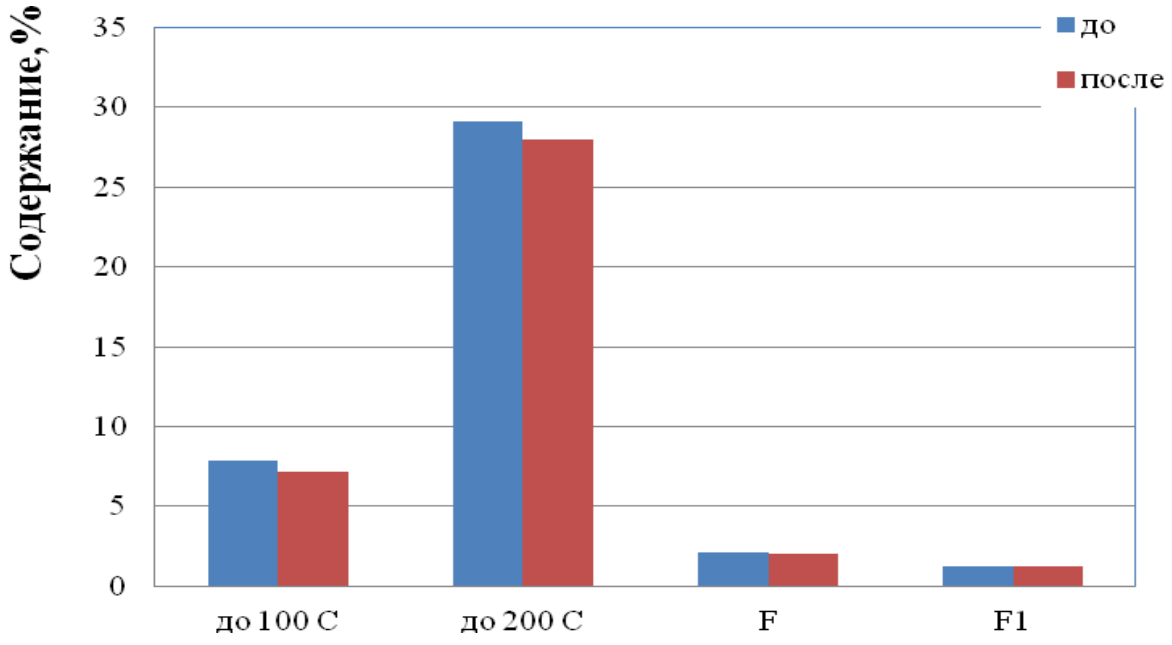

Рисунок 2 – Сравнительный анализ средних параметров термического анализа проб нефти скважины №8420 до и после ГРП

Результаты комплексного экспериментального исследования эффективности ГРП на примере добывающих скважин Павловской и Зеленогорской площадей, полученные на основе анализа изменения оптических, физико-химических свойств и состава проб добываемой нефти, позволили классифицировать ГРП как метод интенсификации

(увеличение текущего отбора). Результаты оптических исследований коррелировались с данными по изменению компонентного состава и физико-химических свойств нефти.

В работе кроме оценки эффективности ГРП в добывающих скважинах, проведена оценка технологической эффективности и классификационной направленности воздействия ГРП в нагнетательных скважинах на основе изменения оптических свойств нефти проб реагирующих добывающих скважинах. Выбор объектов ГРП на нагнетательном фонде скважин всегда требует тщательного индивидуального подхода, при этом необходимо учитывать коэффициент влияния скважин анализируемого участка. Исследования по второму этапу программы исследований включали в себя выбор и обоснования участков, анализ геолого-промысловой информации, отбор проб нефти и исследования оптических свойств по предложенной комплексной методике.

Динамика технологических показателей работы и изменение оптических свойств нефти скважины №3719 до и после проведения ГРП на участке нагнетательной скважины №29216 представлена на рисунке 3.

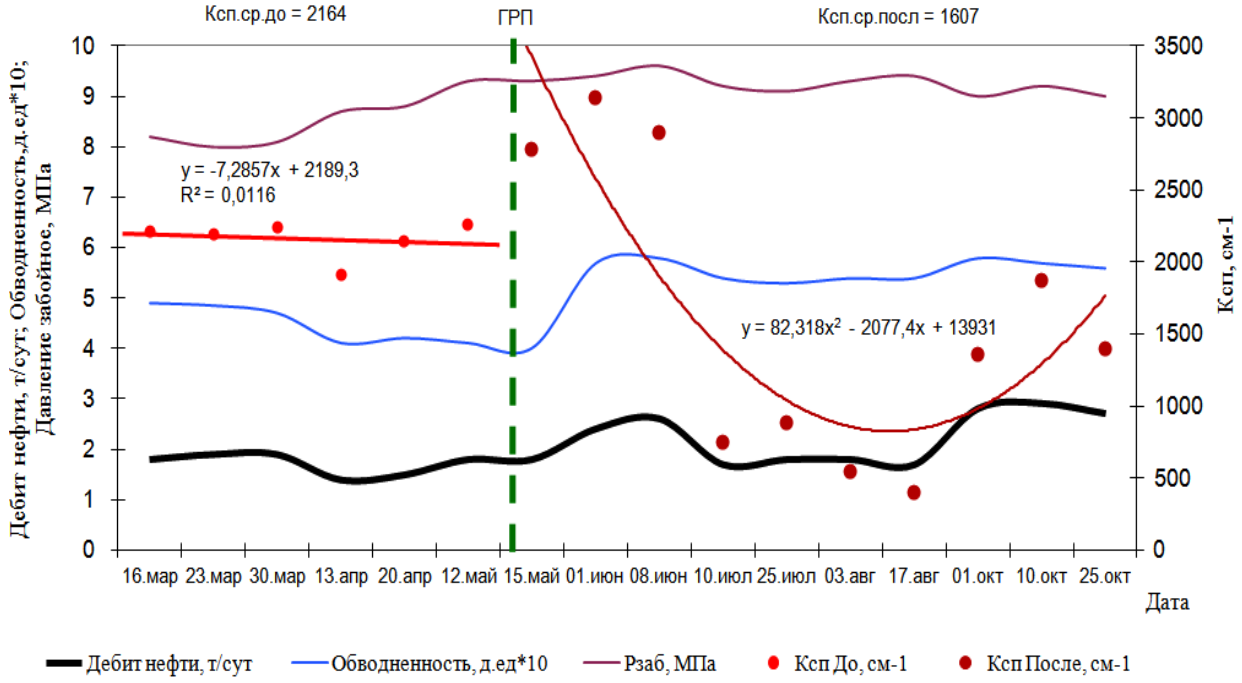

Рисунок 3 – Динамика суточного дебита, обводнённости продукции, забойного давления и $K_{сп}$ нефти при длине волны 385 нм по скважины №3719

По участку скважины №29216 интенсивное уменьшение $K_{сп}$ отмечено по пробам нефти реагирующих скважин №№3719 и 3721, (среднеквадратичное отклонение 25-50%), при этом незначительное увеличении добычи нефти на 0,5 т/сут, большими значениями коэффициента влияния ($K_{вл}$) нагнетательной скважины. Это свидетельствует о вовлечении в разработку элемента с непреобразованными запасами нефти. Анализ результатов оптических исследований по добывающей скважине №28847 участка нагнетательной

скважины №19568 после проведения ГРП показал, что, несмотря на незначительное увеличение среднесуточного дебита по скважине (на 1 т/сут), наибольшее уменьшение коэффициента светопоглощения нефти (среднеквадратичное отклонение значения $K_{сп}$ составило 20%) свидетельствует о мобилизации остаточных непреобразованных запасов нефти.

На некоторых реагирующих скважинах участков наблюдается снижение дебита нефти и увеличение обводненности после ГРП на нагнетательных скважинах при росте значения $K_{сп}$ (среднеквадратичное отклонении на 30%).

Таблица 2 – Итоговая информация по анализируемым скважинам объекта

Анализируемые параметры	Участки нагнетательных скважин №№						
	29216					19568	
	Реагирующие скважины участков №№						
	3721	8489	3719	8675Д	698	28843	28847
Среднее значение коэффициента светопоглощения до ГРП, $K_{сп\ ср.}$ (385нм), $см^{-1}$	2251	1614	2164	1267	1311	1856	3318
Среднее значение коэффициента светопоглощения после ГРП, $K_{сп\ ср.}$ (385нм), $см^{-1}$	1586	1658	1607	1509	1475	1359	2302
Изменение среднего значения коэффициента светопоглощения, $\pm\Delta K_{сп.\ ср}$, $см^{-1}$	-665	+44	-557	+241	+164	-497	-1017
Среднее квадратичное отклонение значения коэффициента светопоглощения ($K_{сп}$), σ	759	744	817	633	428	331	607
Средний дебит нефти до ГРП, $Q_{н\ ср.}$, *т/сут*	1,6	18,6	1,72	9,83	0,25	26,8	8,4
Средний дебит нефти после ГРП, $Q_{н\ ср.}$, *т/сут*	2,06	12,69	2,22	8,79	0,27	32,7	9,4
Изменение среднего значения дебита нефти, $\pm\Delta Q_{н\ ср.}$, *т/сут*	0,46	-5,91	0,5	-1,04	0,02	5,97	1
Эффективная толщина пласта, $h_{эфф}$, *м*	7,2	3,6	2,6	5	9,2	6,6	11,2
Пористость, *т, %*	19,7	21,5	14,6	19,7	17,5	19,8	18,6
Коэффициент влияния участка, $K_{вл}$	0,38	0,15	0,48	0,59	0,5	0,1	0,1

Таким образом, предложен метод оценки характера воздействия ГРП в нагнетательных скважинах на реагирующие скважины участка разработки на основе анализа изменения оптических свойств добываемой

нефти. Метод был опробован на двух опытных участках терригенных отложений девона Ромашкинского месторождения. Результаты промысловых исследований свидетельствуют о возможности применения разработанного метода для выявления характера воздействия процесса ГРП нагнетательных скважин на вытеснение остаточных запасов нефти в заводненных пластах. Проанализировав полученные результаты апробации разработанной комплексной методики исследования, можно сделать вывод, что применение ГРП на участках нагнетательных скважин позволяет охватить разработкой и мобилизовать непреобразованные запасы нефти, при этом технология ГРП может классифицироваться как физический метод увеличения нефтеизвлечения.

Для уточнения классификационного направления воздействия применения ГРП на процесс выработки остаточных запасов на третьем этапе исследований был выполнен комплексный анализ динамики среднесуточного дебита скважин, изменения оптических характеристик (коэффициент светопоглощения) и физических свойств (динамическая вязкость и плотность), который позволяет оценить направление воздействия анализируемой технологии.

Были выбраны скважины Миннибаевской (№№ 118Д, 20332), Березовской (№21630) и Северо-Альметьевской (№№ 32563, 32588) площадей Ромашкинского месторождения (таблица 3).

На рисунке 4 представлены результаты апробации предложенной комплексной методики на примере скважины № 32588 в виде корреляционных зависимостей среднесуточного дебита, среднего значения коэффициента светопоглощения, динамической вязкости и плотности исследуемых проб нефти, а также в виде динамики изменения обводненности добываемой продукции и забойного давления.

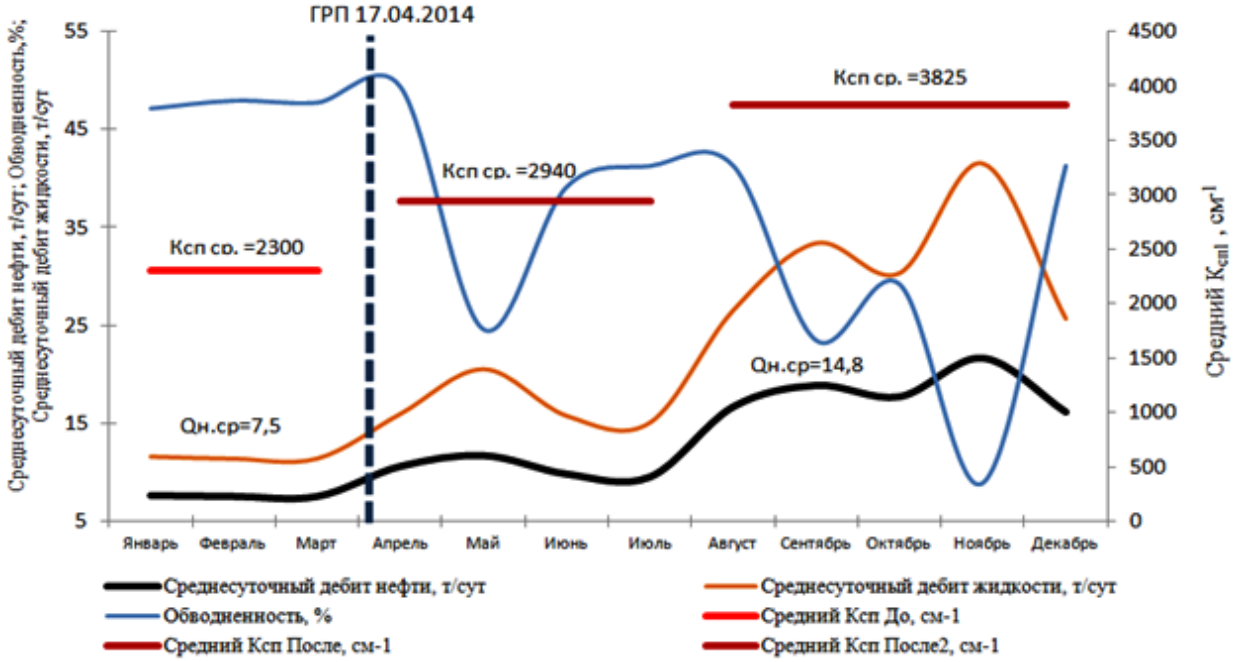

Рисунок 4 – Результаты применения комплексной методики на скважине №32588 Северо-Альметьевской площади (при длине волны 385 нм)

Анализ динамики оптических свойств нефти скважины №32588 также описывается кусочно-постоянной функцией. Наблюдается, что после выхода скважины на режим (после ГРП) произошло ступенчатое увеличение оптической плотности нефти (среднее значение $K_{сп}$ увеличилось на 1130 см$^{-1}$) при среднеквадратичном отклонение на 30%. Это позволяет сделать вывод о вовлечении в разработку ранее уже разрабатываемых преобразованных запасов нефти, о чем свидетельствует заметное увеличение вязкости и плотности исследуемой нефти после ГРП. При этом наблюдается рост дебита нефти в 2 раза и снижение обводненности на 15 %. Данная скважина показала продолжительность эффекта от ГРП на всем продолжении исследования.

При применении ГРП в добывающих скважинах возможна как интенсификация добычи ранее вовлеченных запасов преобразованной нефти за счет увеличения текущего отбора нефти в зоне воздействия, так и повышение нефтеизвлечения за счет мобилизации остаточной непреобразованной нефти.

Таблица 3 – Итоговая информация по анализируемым скважинам Березовской, Миннибаевской и Северо-Альметьевской площадей Ромашкинского месторождения

Параметры (до и после ГРП)		Площади / Скважины №№				
		Березовская	Миннибаевская		Северо-Альметьевская	
		21630	118Д	20332	32563	32588
Среднесуточный дебит нефти, $Q_{н\ ср.}$, *т/сут*	До	1,4	26,18*	1	2,6	7,5
	После	6,7	12,52	5,27	10,8	14,8
Обводненность, *В, %*	До	81	16*	72	70	48
	После	71	20	78	71	33
Коэффициент светопоглощения средний (при λ=385 *нм*), $K_{сп}$, *см*$^{-1}$	До	2260	2697	3823	2741	2300
	После	2664	2266	2578	1923	3430
	±Δ $K_{сп}$	+404	-431	-1245	-818	+1130
Среднее квадратичное отклонение значения коэффициента светопоглощения ($K_{сп}$), σ		262	259	610	409	624
Динамическая вязкость, $\mu_н$, *мПа·с*	До	12,32	12,16	13,63	12,61	11,82
	После	13,82	11,02	11,15	8,49	16,20
Плотность нефти, $\rho_н$, *кг/м*^{3}	До	845,5	845,3	850,8	848,2	844,6
	После	850,3	846,4	843,3	834,5	848,6

Примечания: * - средние значения дебита нефти и обводненности до ГРП на скважине №118Д имеют высокие значения, так как скважина работала в накоплении.

Прежде, при прогнозировании проведения повторного ГРП, учитывалось только изменение добывных возможностей скважины, т.е. при падении дебитов добывающих скважин более чем на 50% от первоначальных значений в них осуществляют повторный ГРП. Но при этом не учитывалась классификационная направленность воздействия ГРП, так как необходимо понимать, за счет каких запасов получается дополнительная добыча нефти в результате ГРП и как долго возможно поддерживать ее на достигнутом уровне, тем самым прогнозировать продолжительность эффекта от гидроразрыва и дать рекомендацию о назначении повторного ГРП в той же скважине.

По результатам исследований была предложена и защищена патентом Российской Федерации на изобретение («Способ разработки нефтяного месторождения» №2568450 от 05.05.2014 г.) комплексная методика повышения точности прогнозирования назначения повторного ГРП на примере Ромашкинского месторождения.

Методика повышения точности прогнозирования назначения повторного ГРП заключается в следующем:

– для проведения ГРП выбираются скважины-кандидаты, отвечающие требованиям и имеющие $K_{сп}$ (коэффициент светопоглощения) выше среднего по площади; эти скважины должны соответствовать уже разработанным параметрам (критериям) подбора скважин-кандидатов;

– отбор проб нефти по скважинам для определения значений $K_{сп}$ с дальнейшей оценкой динамики среднего значения $K_{сп}$ по объекту;

– отбор проб нефти для определения $K_{сп}$ проводится в течении 60 календарных дней до ГРП и 120 дней после с интервалом 1 раз в неделю;

– проводится первичный ГРП по стандартным технологиям, оптимальным для данных геолого-физических условий;

– после проведения ГРП проводится отбор проб для определения $K_{сп}$ и проводится анализ динамики технологических параметров работы скважин;

– выполняется анализ динамики изменения дебита нефти и $K_{сп}$. Увеличение $K_{сп}$ до среднего по объекту означает, что в результате проведения первичного ГРП выработка вновь вовлечённых в разработку новых непреобразованных запасов нефти завершена. При увеличении $K_{сп}$ до среднего по объекту (до ГРП), принимается решение о назначении проведения повторного ГРП.

Таким образом, на основе анализа динамики $K_{сп}$ и объемов добычи нефти определяется оптимальный период назначения проведения повторного ГРП (рисунок 5).

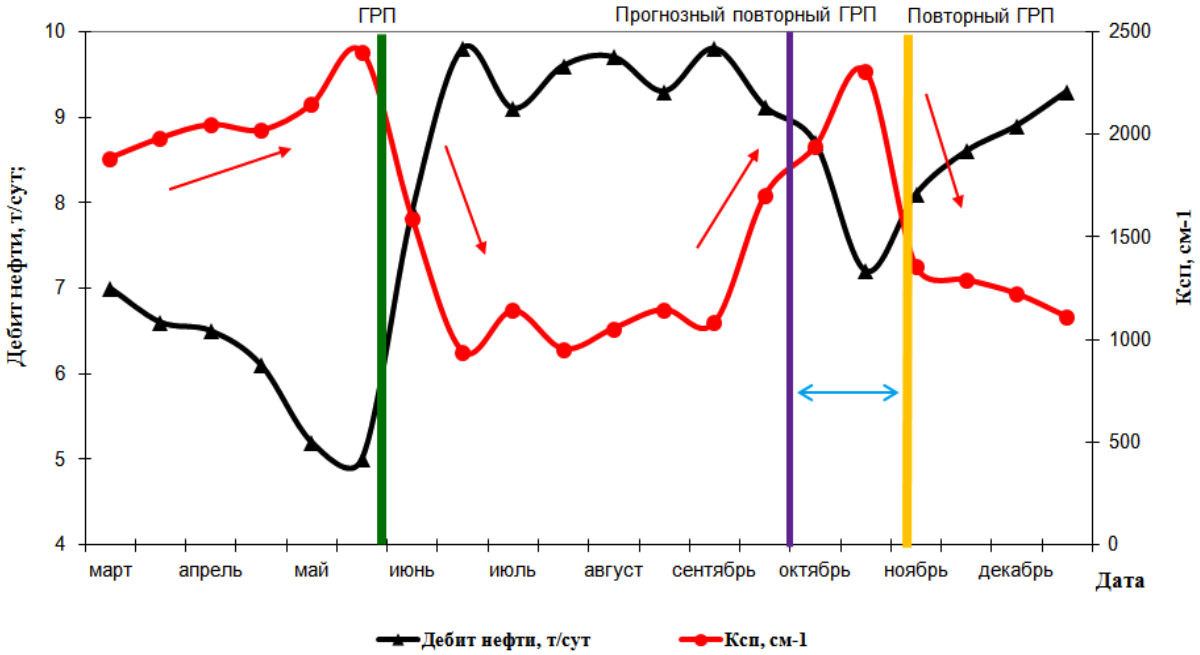

Рисунок 5 – Пример применения комплексного анализа динамики $K_{сп}$ и объемов добычи нефти при прогнозировании назначении повторного ГРП

Произведен расчет экономического эффекта на рассматриваемом примере (рисунок 5) по прогнозированию оптимального периода назначения проведения повторного ГРП. Благодаря проведенному комплексному анализу спрогнозировано назначение повторного ГРП – не менее 1 месяца до фактического проведения повторного ГРП. Дополнительная добыча нефти за счет прогнозирования повторного ГРП – 78 тонн (за прогнозный месяц). С учетом стоимости 1 тонны нефти (20 674 руб.) выручка за счет прогнозирования повторного ГРП (за прогнозный месяц) составит 1,6 млн.руб.

Предлагаемый способ разработки нефтяного месторождения позволит повысить точность прогнозирования назначения повторного ГРП. Оценка изменения коэффициента светопоглощения позволит определить точную классификационную направленность воздействия гидроразрыва пласта (увеличение коэффициента охвата или текущего отбора нефти), оценить качество остаточных запасов и увеличить нефтеизвлечение из залежи за счет непреобразованных (неохваченных воздействием) запасов нефти, вовлекаемых в разработку в результате применения гидроразрыва пласта.

Если в разработку вовлекаются преобразованные остаточные запасы нефти, то $K_{сп}$ нефти увеличивается, а, следовательно, ГРП направлен на увеличение текущего отбора нефти. Если в результате применения ГРП в разработку вовлекаются непреобразованные запасы нефти, то $K_{сп}$ снижается и метод направлен на увеличение нефтеизвлечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа научно-технической литературы выявлено, что для оценки эффективности МУН и ОПЗ существует большое количество методик. Для контроля процессов воздействия на пласт при реализации технологии ГРП, показывается необходимость комплексной методики с использованием оптических методов, позволяющей оценить изменения свойств нефти, вовлекаемых в разработку запасов, что обосновывает актуальность темы диссертационной работы. На основе анализа геолого-промысловой информации показано, что для условий терригенного девона Ромашкинского месторождения ГРП является эффективной технологией для увеличения добычи нефти.

2. Предложена и экспериментально обоснована комплексная методика исследований, которая даёт дополнительную информацию о степени преобразованности добываемой нефти в результате проведения ГРП. Установлена эффективность использования технологии гидравлического разрыва пласта для более точной дифференциации свойств нефти и оценки классификационной направленности воздействия, как метода повышения нефтеизвлечения (увеличение коэффициента охвата) или метода интенсификации разработки (увеличение текущего отбора нефти).

3. Предложено классифицировать технологию ГРП в добывающих скважинах, как метод интенсификации добычи текущих запасов преобразованной нефти при увеличении значения коэффициента светопоглощения ($K_{сп}$) добываемой нефти после гидравлического разрыва пласта до порогового значения среднеквадратичного отклонения 15-20%. При снижении значения $K_{сп}$ добываемой нефти после гидроразрыва до порогового значения среднеквадратичного отклонения 10-15% предложено классифицировать технологию ГРП в добывающих скважинах, как метод повышения нефтеизвлечения за счет мобилизации остаточной непреобразованной нефти. Установлено влияние ГРП в нагнетательных скважинах на снижение значения коэффициента светопоглощения добываемой нефти по реагирующим скважинам на 25-30%, при этом в целом по добывающим скважинам двух реагирующих участков снижение среднеквадратичного отклонения $K_{сп}$ составляет 20-50%, что позволяет подтвердить мобилизацию остаточной непреобразованной нефти и, тем самым, классифицировать гидроразрыв пласта, как метод повышения нефтеизвлечения за счет реализации технологии.

4. Предложен способ разработки месторождения (защищено Пат. 2568450 (РФ), МПК E21B 43/26 «Способ разработки нефтяного месторождения»), основанный на разработке комплексной методики оценки оптических свойств нефти и технологических режимов скважин, позволяющий повысить точность прогнозирования назначения повторного ГРП.

Список работ, опубликованных по теме диссертации, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Ибатуллин Р.Р. Оценка эффективности гидроразрыва пласта с использованием анализа оптических свойств нефти / Р.Р. Ибатуллин, И.А. Гуськова, А.Т. Габдрахманов, А.А. Рыбаков, В.А. Таипова // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 11. – С. 113-115.

2. Гуськова И.А. О методах оценки эффективности гидроразрыва пласта / И.А. Гуськова, А.Т. Габдрахманов, А.А. Рыбаков, Т.Н. Юсупова, Е.Е. Барская // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 106-108.

3. Гуськова И.А. Применение оптического метода контроля за эффективностью ГРП на поздней стадии разработки Ромашкинского месторождения / И.А. Гуськова, А.А. Рыбаков // Нефтепромысловое дело. – 2018. - №2. – С. 33-37.

4. Пат. 2568450 (РФ), МПК E21B 43/26 Способ разработки нефтяного месторождения / Гуськова И.А., Габдрахманов А.Т., Рыбаков А.А.: опубл. 20.11.2015.

5. Рыбаков А.А. Влияние проведения ГРП на коэффициент охвата пласта вытеснением посредством анализа спектра видимого оптического поглощения образцов добываемой нефти / А.А. Рыбаков, С.В. Фадеев // 66-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2012» (17-20 апреля 2012 год). Сборник тезисов. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012. – С. 35.

6. Рыбаков А.А. Влияние проведения ГРП на коэффициент охвата пласта вытеснением посредством анализа спектра видимого оптического поглощения образцов добываемой нефти / А.А. Рыбаков, С.В. Фадеев // материалы научной сессии учёных Альметьевского государственного нефтяного института (26-27 апреля 2012 год). Альметьевск: АГНИ. – 2012. – С. 98-100.

7. Рыбаков А.А. Анализ спектра видимого оптического поглощения образцов добываемой нефти / А.А. Рыбаков, С.В. Фадеев // Учёные записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том X, Часть 1. – Альметьевск: АГНИ. – 2012. – С. 121-124.

8. Рыбаков А.А. Влияние проведения ГРП на коэффициент охвата пласта вытеснением посредством анализа спектра видимого оптического поглощения образцов добываемой нефти / А.А. Рыбаков // VI научно-техническая конференция «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири» (16 мая 2012 год). Сборник тезисов. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2012. – С. 52-54.

9. Рыбаков А.А. Анализ изменения оптических свойств нефти в результате проведения гидравлического разрыва пласта / А.А. Рыбаков // 67-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2013» (9-12 апреля 2013 года). Сборник тезисов. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2013. – С. 69.

10. Рыбаков А.А. Влияние изменения оптических свойств на степень преобразованности нефти в результате гидравлического разрыва пласта / А.А. Рыбаков // X международный молодежный нефтегазовый форум (13-14 апреля 2013 года). Сборник тезисов научно-практической конференции. – Алматы.: КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2013. – С. 105-107.

11. Рыбаков А.А. Оценка влияния проведения процесса ГРП на нефтеизвлечение остаточных запасов Ромашкинского месторождения / А.А. Рыбаков // материалы Региональной научно-практической конференции «Научная сессии учёных АГНИ» (22-26 апреля 2013 год). Часть 1. – Альметьевск: АГНИ. – 2013. – С. 45-48.

12. Габдрахманов А.Т. ГРП – метод увеличения нефтеизвлечения или обработки призабойной зоны пласта / А.Т. Габдрахманов, А.А. Рыбаков // Учёные записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том XI, Часть 1. – Альметьевск: АГНИ. – 2013. – С. 16-19.

13. Гуськова И.А. Использование оптических методов контроля при применении методов увеличения нефтеизвлечения / И.А. Гуськова, А.Т. Габдрахманов, А.А. Рыбаков // материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии» (4-6 сентября 2013 год). Казань: Изд-во «ФЭН», АН РТ. – 2013. – С. 324-326.

14. Рыбаков А.А. Новые подходы к оценке технологической эффективности ГРП / А.А. Рыбаков // X Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (10-12 февраля 2014 год). Тезисы докладов. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2014. – С. 74.

15. Рыбаков А.А. Комплексное исследование эффективности проведения гидравлического разрыва пласта для выработки остаточных запасов нефти с использованием спектрофотометрии на примере Ромашкинского месторождения / А.А. Рыбаков // 68-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2014» (14-16 апреля 2014 года). Сборник тезисов. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2014. – С. 123.

16. Рыбаков А.А. Новый подход к оценке ГРП / А.А. Рыбаков // материалы Всероссийской научно-практической конференции «Нефтегазовый комплекс: образование, наука и производство» (14-18 апреля 2014 год). Часть 1 – Альметьевск: АГНИ. – 2014 г. – С. 42-45.

17. Гуськова И.А. Использование оптических методов контроля при применении методов увеличения нефтеизвлечения / И.А. Гуськова, А.Т. Габдрахманов, А.А. Рыбаков // материалы Международной научно-практической конференции «Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы углеводородов: опыт и прогнозы» (3-4 сентября 2014 год). Казань: Изд-во «ФЭН», АН РТ. – 2014. – С. 212-214.

18. Rybakov A.A. Monitoring EOR and well stimulation techniques by oil optical properties measurement / I.A. Guskova, A.T. Gabdrakhmanov //

Society of Petroleum Engineers – SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition 2014, RO and G 2014 – Sustaining and Optimising Production: Challenging the Limits with Technology Sustaining and Optimising Production: Challenging the Limits with Technology. – 2014. – P. 984-991.

19. Рыбаков А.А. Оценка качества вовлекаемых запасов в результате проведения гидроразрыва пласта / А.А. Рыбаков, Л.К. Шайдуллин // Сборник тезисов Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века» / Отв. ред. А.В. Герасимов. [Электронный ресурс] – Казань.: Изд-во КФУ, 2014. – С. 135.

20. Рыбаков А.А. Применение оптических методов для контроля за эффективностью проведения ГРП / А.А. Рыбаков // 69-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Нефть и газ 2015» (14-16 апреля 2015 года). Сборник тезисов. Том 1. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2015. – С. 256.

21. Гуськова И.А. Новый подход к оценке гидравлического разрыва пласта / И.А. Гуськова, А.А. Рыбаков // сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан: «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Альметьевск: АГНИ. – 2016. – С. 362-365.

Подписано в печать 30.08.2019 г.
Формат 60×84/16
Печать RISO Объем 1,5 ус.печ.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 140

ГБОУ ВО «АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ»
УЧЕБНАЯ ТИПОГРАФИЯ
423452, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, 2
Тел.: 8 (8553) 31-01-09
E-mail: typographi_agni@mail.ru