

На правах рукописи



САЯХОВ ВАДИМ АЛИКОВИЧ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ
РАСТВОРИТЕЛЯ ДЛЯ ПАРОТЕПЛОВОГО МЕТОДА ДОБЫЧИ
СВЕРХВЯЗКОЙ НЕФТИ**

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: **Гуськова Ирина Алексеевна**
доктор технических наук, доцент

Официальные

оппоненты: **Золотухин Анатолий Борисович**
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
советник при ректорате, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, научный руководитель Института арктических нефтегазовых технологий

Тупицин Андрей Михайлович

кандидат технических наук,
Общество с ограниченной ответственностью «БайТекс»,
главный геолог

Ведущая

организация: **Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»**

Защита состоится 19 декабря 2019 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 222.018.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» по адресу: 423236, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М.Джалиля, д.32.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета,
кандидат технических наук



Львова Ирина Вячеславовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В связи с ухудшением структуры добываемых запасов возникает необходимость вовлечения в разработку месторождений сверхвязкой нефти. Однако эти месторождения, как правило, отличаются неблагоприятными для добычи геолого-физическими характеристиками и условиями залегания. Поэтому при добыче сверхвязкой нефти необходимо применять высокоэффективные и, в то же время, рентабельные технологии. Мировой опыт освоения таких залежей свидетельствует о технологической эффективности использования паротеплового метода добычи.

В процессе разработки залежей сверхвязкой нефти паротепловым методом происходят изменения состава и свойств нефти, что оказывает влияние на динамику приемистости и фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов при дальнейшем развитии освоения площади. Управление данными изменениями в конкретных геолого-технологических условиях является одной из главных задач развития тепловых методов добычи сверхвязкой нефти.

Выбор вариантов технологий добычи сверхвязкой нефти определяется поставленными целями: обеспечение рентабельной разработки без ухудшения качества нефти или достижение высокого коэффициента нефтеизвлечения. Поэтому, при разработке или совершенствовании данных технологий, должна быть выполнена также комплексная оценка влияния реализуемых методов воздействия на состав и свойства добываемой нефти.

Степень разработанности темы исследования

Изучением проблем повышения эффективности разработки залежей сверхвязкой нефти занимались Д.Г.Антониади, Н.К.Байбаков, Г.И.Баренбалатт, А.А.Боксерман, Ю.М.Ганеева, И.А.Гуськова, Р.Н.Дияшев, С.А.Жданов, Ю.П.Желтов, А.Т.Зарипов, А.Б.Золотухин, Р.Р.Ибатуллин, Г.П.Каюкова, В.И.Кудинов, А.А.Липаев, Г.Е.Малофеев, А.Х.Мирзаджанзаде, Р.Х.Муслимов, Г.В.Романов, Л.М.Рузин, М.Л.Сургучев, Р.С.Хисамов, Н.И.Хисамутдинов, А.Б.Шейнман, Т.Н.Юсупова, R.M.Butler, M.Greaves, S.Gupta, B.Nascakir и др.

Несмотря на значительные достижения науки в области освоения залежей сверхвязкой нефти, необходимо развитие исследований, направленных на совершенствование технологий добычи на основе системного подхода с учетом состава и свойств нефти, технологических рисков и взаимовлияния технологических процессов. Необходимо уделить внимание изучению особенностей молекулярно-дисперсного поведения нефтяных дисперсных систем при реализации технологий добычи сверхвязкой нефти. Поэтому проблема развития и поиска эффективных решений по совершенствованию

паротеплового метода добычи на месторождениях сверхвязкой нефти, является актуальной.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии добычи сверхвязкой нефти на основе комплекса экспериментальных исследований с учетом состава и свойств проб добываемой сверхвязкой нефти и нефти, выделенной из керна.

Задачи исследований:

1. Проанализировать современные технологии добычи сверхвязкой нефти и методы экспериментальных исследований состава и свойств нефти для обоснования технологий добычи сверхвязкой нефти.

2. Выполнить анализ неоднородности состава и свойств нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

3. Выполнить обоснование и разработать методику по выбору композиции растворителя с применением комплекса экспериментальных исследований.

4. Выполнить экспериментальные исследования и разработать рекомендации по совершенствованию технологии добычи сверхвязкой нефти.

Научная новизна работы:

1. На основе оптического метода исследования с применением показателя $D_{440D490}/D_{590D665}$, коррелирующего с содержанием ароматических соединений в нефти, установлено существенно большее (на 40%) содержание ароматических соединений в составе сверхвязкой нефти из керна, чем в составе добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

2. С применением хроматографического метода исследования установлено, что концентрация высокомолекулярных алканов ряда $C_{30}-C_{40}$ в составе сверхвязкой нефти из керна значительно больше (на 30%), чем в составе добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

3. Выявлено, что при повышении температуры выше $50^{\circ}C$ возрастает степень неоднородности компонентного состава (коэффициент вариации более 38%) и реологических свойств добываемой сверхвязкой нефти (коэффициент вариации более 35%) Ашальчинского месторождения.

4. На основе хроматографического метода исследования установлено, что использование паротеплового метода совместно с предлагаемой композицией растворителя обеспечивает существенно большую (на 78%) концентрацию тяжелых компонентов ряда $C_{30}-C_{40}$ в составе извлекаемой сверхвязкой нефти, чем при паротепловом воздействии.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Выявленные различия в составе и свойствах нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти позволят усовершенствовать технологии добычи сверхвязкой нефти в условиях шешминского горизонта Ашальчинского месторождения.

2. Обоснована и разработана методика с блок-схемой для поэтапного выбора композиции растворителя для добычи сверхвязкой нефти.

3. Разработан и рекомендован к применению на опытно-промышленных работах состав композиции растворителя (смесь ароматических углеводородов бензольного ряда и неионогенного ПАВ), который в сочетании с паротепловым воздействием позволяет существенно повысить степень извлечения тяжелых углеводородных компонентов в составе вытесняемой сверхвязкой нефти. Полученные зависимости изменения компонентного состава вытесняемой сверхвязкой нефти при различных способах воздействия могут быть использованы при обосновании технологий добычи в условиях Ашальчинского месторождения.

4. Результаты исследований были использованы при выполнении работ по проекту «Разработка научно-технологических решений по освоению нетрадиционных коллекторов (доманиковые отложения) и трудноизвлекаемых запасов нефти (битуминозные нефти) на основе экспериментальных исследований» в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0195 от 26.09.2017 (уникальный идентификатор работ RFMEFI60717X0195).

5. Материалы диссертационной работы использованы в учебном процессе при изучении дисциплины «Разработка месторождений высоковязких нефтей и природных битумов» для магистров направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело».

6. Результаты работы использованы при составлении программы опытно-промышленных работ на скважинах-кандидатах Ашальчинского месторождения.

Методы исследования

Решение поставленных задач основывается на проведении теоретических и лабораторных исследований. Работа выполнена в соответствии со стандартными и специально-разработанными методиками. Обработка экспериментальных данных проводилась с применением соответствующего программного обеспечения и методов математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты экспериментальных исследований неоднородности состава и свойств нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

2. Разработанная и экспериментально обоснованная методика с комплексом экспериментальных исследований по выбору композиции растворителя, обеспечивающей повышение степени извлечения тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти.

3. Результаты экспериментальных исследований по выбору композиции растворителя, позволяющей повысить степень извлечения тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти, обеспечивая при этом сохранение коллоидной устойчивости нефти.

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

Апробация работы

Основные положения, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации работы докладывались на 5 региональных, всероссийских и международных форумах и конференциях: IX Всероссийская конференция «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г.Пермь, 09.11.2016); 71-ая Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ-2017» (г.Москва, 19.04.2017г.); Молодежная научно-практическая конференция ПАО «Татнефть», посвященная 55-летию НГДУ «Елховнефть». Секция «Разработка нефтяных и газовых месторождений» (г.Альметьевск, 22.09.2017); III Международная научно-практическая конференция «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (г.Альметьевск, 16.11.2018); 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ-2019» (г.Москва, 23.04.2019).

Личный вклад соискателя заключается в постановке целей и задач теоретических и экспериментальных исследований, в анализе научных литературных источников, в разработке методик выполнения исследований, в непосредственном участии в проведении экспериментальных исследований, а также в интерпретации и анализе их результатов и формулировке выводов.

Автор выражает благодарность научному руководителю Гуськовой Ирине Алексеевне, заведующему кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ГБОУ ВО АГНИ Насыбуллину Арслану Валерьевичу, коллегам с кафедры РиЭНГМ АГНИ, научным сотрудникам ТатНИПИнефть, а также соавторам публикаций за ценные замечания, консультации, вклад и помощь при выполнении работы.

Публикации

По теме диссертации опубликовано всего 19 научных работ, из них 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 3 работы в изданиях, входящих в базы данных SCOPUS.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 164 наименования. Материал диссертации изложен на 146 страницах машинописного текста, включает 25 таблиц и 36 иллюстраций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе

Изучена характеристика и ресурсная база сверхвязкой нефти. Выявлено, что, несмотря на существенные запасы тяжелого углеводородного сырья, объемы его добычи остаются низкими, как в России, так и во всем мире. Это связано с необходимостью применения высокоэффективных и рентабельных технологий добычи. На данный момент проблема поиска высокоэффективных методов увеличения нефтеотдачи пластов на месторождениях сверхвязкой нефти является актуальной.

Для обоснования технологии разработки месторождений сверхвязкой нефти используются различные методы, которые условно можно разделить на тепловые, «холодные» и комбинированные. Однако существующие классификации технологий добычи сверхвязкой нефти не учитывают системного воздействия на пласт и не основываются на конечном результате.

Выбор и обоснование методов добычи сверхвязкой нефти, как правило, осуществляется на основе отдельных видов экспериментальных исследований,

в том числе реологических, хроматографических, оптических, фильтрационных. Однако комплексные экспериментальные исследования для обоснования технологии воздействия с учетом изменения состава и свойств нефти, технологических рисков и взаимовлияния технологических процессов, как правило, проводятся достаточно редко. Особенности молекулярно-дисперсного поведения нефтяных дисперсных систем при обосновании технологий добычи сверхвязкой нефти также не всегда уделяется должного внимания. Использование для лабораторных исследований только рекомбинированных проб добываемой сверхвязкой нефти может внести существенные погрешности в результаты при выборе и разработке технологий воздействия на залежи сверхвязкой нефти. Возникает необходимость применения комплексных экспериментальных исследований, направленных на совершенствование процессов добычи сверхвязкой нефти, учитывающих изменение состава и свойств добываемой сверхвязкой нефти в процессе разработки залежей.

Во второй главе

Проанализированы особенности разрабатываемого шешминского горизонта Ашальчинского месторождения, для которого характерны малые глубины залегания продуктивных пластов, низкие начальные пластовые давление и температура, высокая вязкость флюида в пластовых условиях, слабая цементированность песчаника коллектора, небольшие толщины продуктивного пласта с понижающейся битумонасыщенностью к его подошве. Перечисленные факторы в совокупности увеличивают продолжительность прогрева пласта, снижения вязкости флюида в пластовых условиях и создания гидродинамической связи между нагнетательными и добывающими скважинами.

С целью совершенствования технологии добычи сверхвязкой нефти в условиях Ашальчинского месторождения показана необходимость разработки комплекса экспериментальных исследований состава и свойств нефти, выделенной из битумонасыщенного керна, и проб добываемой сверхвязкой нефти. Сравнительный анализ неоднородности состава и свойств нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти выполнен с использованием хроматографического, реологического и оптического методов исследования и методов математической статистики.

Реологические исследования добываемой нефти Ашальчинского месторождения проведены с применением ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1 в диапазоне температур 10-80°C и градиентов скорости 5-1000 с⁻¹. Результаты реологических исследований свидетельствуют о резком снижении вязкости нефти в интервале температур от 10 до 30°C, а температурой, при которой независимо от градиента скорости происходит выполаживание кривой вязкости для всех исследованных проб добываемой сверхвязкой нефти, является величина 50°C. Таким образом, нагрев пробы нефти до температур выше 40°C позволяет исключить неоднородность значений вязкости, обусловленную её структурированием.

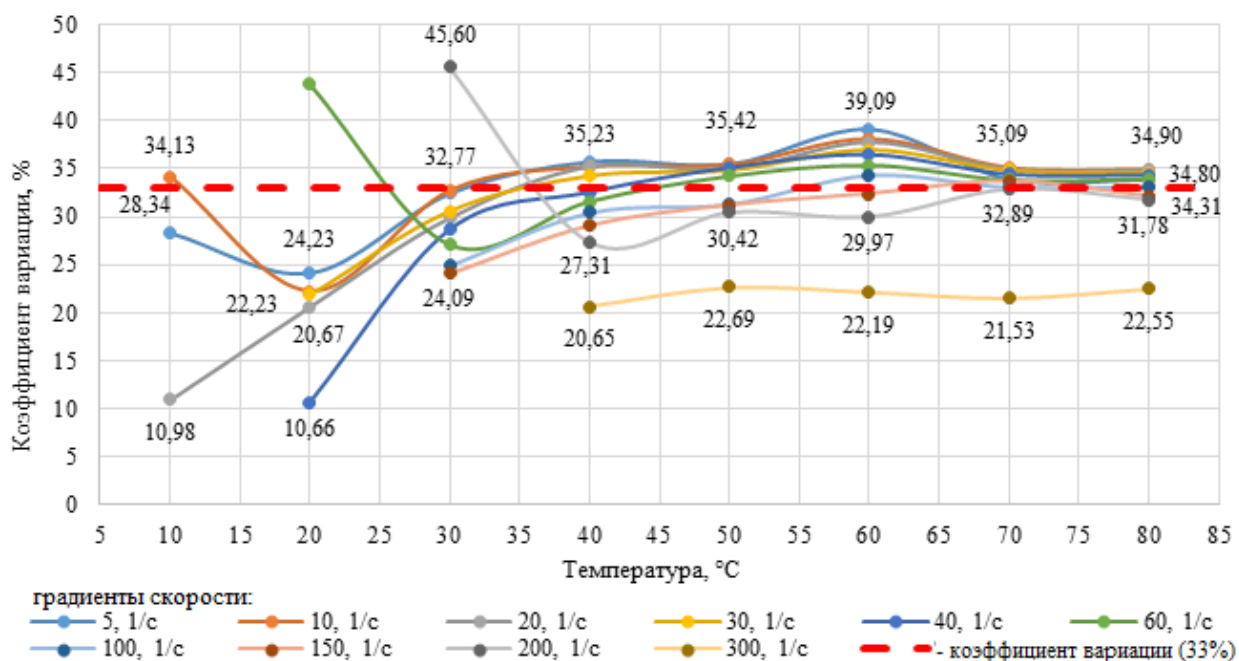


Рисунок 1 – Распределение коэффициента вариации величины динамической вязкости добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения

При построении зависимости степени неоднородности динамической вязкости сверхвязкой нефти при различных градиентах сдвига от температуры воздействия (рис.1) установлено, что с увеличением температуры воздействия более 50°C коэффициент вариации по величине динамической вязкости нефти становится менее вариабельным и составляет в среднем 34,3%, что свидетельствует о неоднородности реологических характеристик исследуемой добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения. При совершенствовании тепловых технологий воздействия на пласт следует учитывать, что величина вязкости нефти исследуемых проб эксплуатационных

скважин является значительно заниженной в сравнении с фактической вязкостью нефти в пластовых условиях на дату ввода залежи в разработку.

Хроматографические исследования нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения проводились на газожидкостном хроматографе GC 2010 Plus с использованием программного обеспечения LabSolutions. На основе хроматографических исследований установлено, что молекулярно-массовое распределение алканов в составе добываемой сверхвязкой нефти имеет мономодальный характер с максимумом в области C_{16} - C_{31} (рис.2), а в составе нефти из керна – бимодальный характер с максимумами в области C_{17} - C_{25} и C_{27} - C_{36} (рис.3).

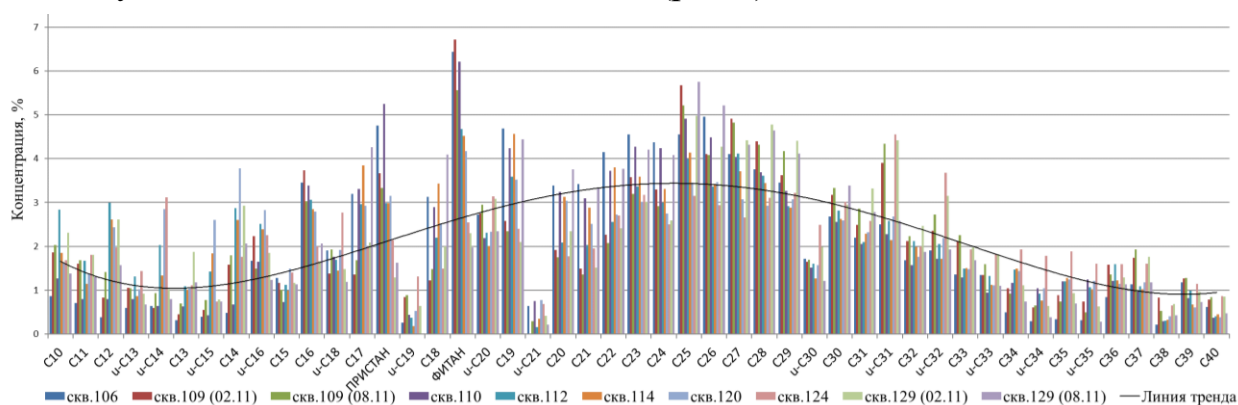


Рисунок 2 – Распределение углеводородных компонентов (по концентрации, %) в составе добываемой нефти Ашальчинского месторождения

Наиболее важным является то, что концентрация высокомолекулярных алканов ряда C_{30} - C_{40} в составе нефти из керна составляет 51,85%, что в два раза превышает концентрацию этой же группы алканов в составе добываемой нефти (24,56%).

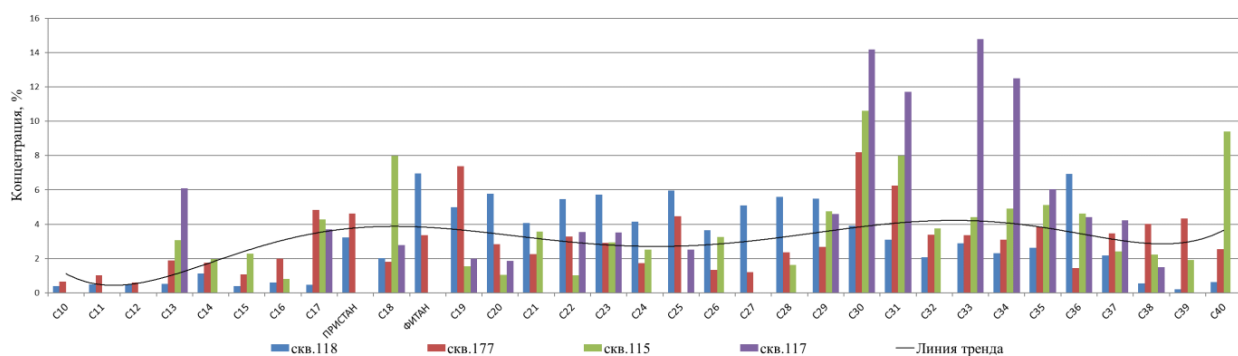


Рисунок 3 – Распределение углеводородных компонентов (по концентрации, %) в составе нефти из керна Ашальчинского месторождения

Присутствие легких углеводородных компонентов в составе добываемой сверхвязкой нефти можно объяснить деструкцией высокомолекулярных компонентов, их высвобождением при перестройке/разрушении

надмолекулярных образований в нефти, а также десорбцией с поверхности породы при применении паротеплового воздействия на пласт.

Выявлено, что компонентный состав нефти из керна является более неоднородным (коэффициент вариации - 55%), чем компонентный состав добываемой нефти (коэффициент вариации - 32%). При повышении температуры воздействия на добываемую сверхвязкую нефть выше 50°C отмечается увеличение степени неоднородности компонентного состава (коэффициент вариации возрастает до 38%), что свидетельствует о влиянии технологии добычи на компонентный состав добываемой сверхвязкой нефти. Однако при этом установлено, что в углеводородном составе добываемой сверхвязкой нефти имеется целый ряд углеводородных компонентов C₁₉-C₃₃ (рис.4), содержание которых не зависит от предварительного термического воздействия и является однородным со средней и значительной степенью рассеивания данных (коэффициент вариации изменяется от 15 до 31%).

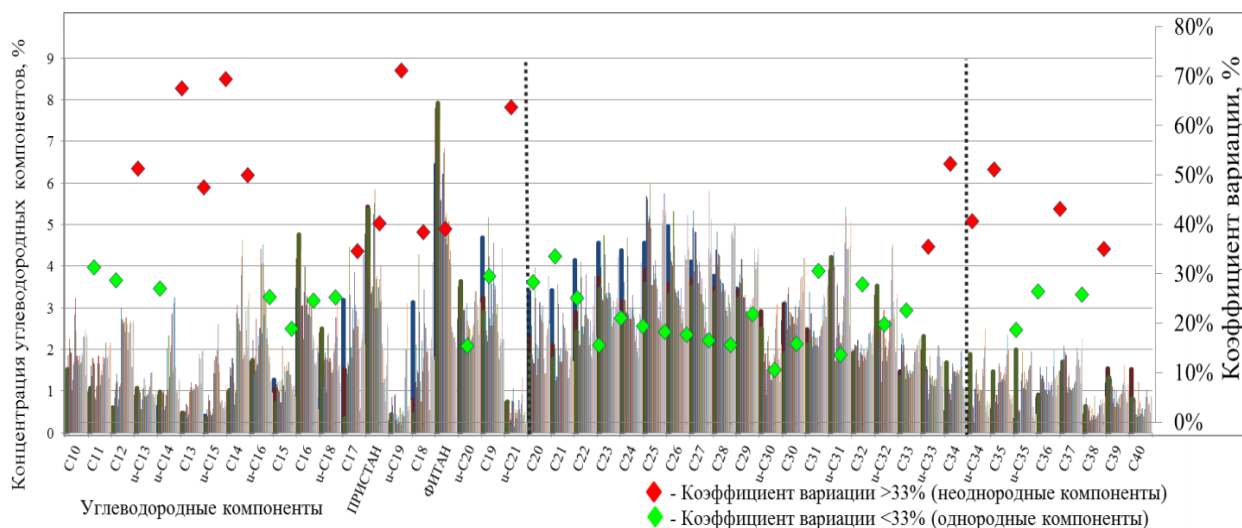
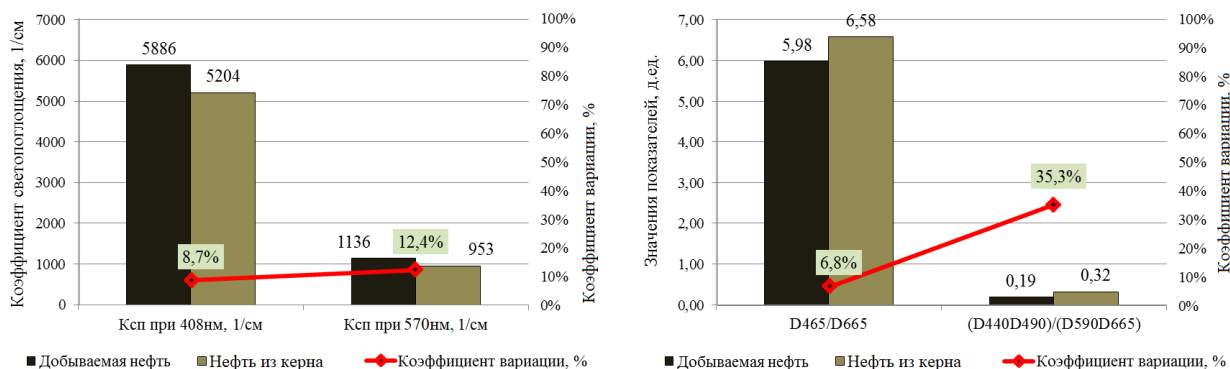


Рисунок 4 - Распределение степени неоднородности по концентрации углеводородных компонентов в составе добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения

Для проведения сравнительного анализа оптических свойств нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения были выполнены спектрофотометрические исследования с использованием спектрофотометра UV-1800 в спектральном диапазоне 190-1100 нм. Согласно результатам спектрофотометрических исследований (рис.5) наличие полос поглощения при длинах волн 408 нм и 570 нм свидетельствует о наличии в образцах добываемой нефти и в нефти из керна ванадилпорфиринов, причем их содержание в добываемой нефти выше, чем в нефти из керна.



а)

б)

Рисунок 5 - Распределение значения коэффициента неоднородности по коэффициенту светопоглощения (а) и спектральным характеристикам (б) исследуемых проб нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения

Увеличение значения показателя (D465/D665) для нефти из керна позволяет судить о превышении асфальтенов в ней по сравнению с добываемой нефтью. Это может быть объяснено эффектом разделительной колонки в пористой среде пласта, в результате чего более тяжёлые компоненты нефти фильтруются с меньшей скоростью относительно лёгких компонентов либо остаются неподвижными при разработке. Сравнительный анализ оптических характеристик (D440D490)/(D590D665), рассчитанных для крновой и добываемой нефтей, позволил выявить существенно большее (в 1,7 раза) содержание ароматических соединений в составе нефти из керна, чем в составе добываемой нефти. Среднее значение показателя D440D490/D590D665, для добываемой нефти составляет 0,19, а для нефти из керна – 0,32.

При исследовании неоднородности оптических свойств с применением элементов математической статистики выявлено, что именно высокая изменчивость содержания ароматических соединений характерна для нефти из керна и добываемой нефти (коэффициент вариации 35,3%). При этом значения коэффициента светопоглощения (408 и 570 нм) для образцов нефти из керна являются более неоднородными (коэффициенты вариации составляют 49% и 54% соответственно) в сравнении с аналогичными показателями для образцов добываемой нефти (29% и 36% соответственно).

На основе оптического и хроматографического методов исследования показано, что, несмотря на выявленные соответствующие неоднородные совокупности, содержание ароматических и высокомолекулярных парафиновых углеводородов в нефти из керна больше, чем в добываемой сверхвязкой нефти.

Как известно, осаждение тяжелых углеводородных компонентов нефти в пластовой системе способствует ухудшению фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов. Негативное влияние на пластовую систему предполагается снизить за счет применения композиции растворителя, обеспечивающей сохранение коллоидной устойчивости нефти и более эффективное извлечение тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти.

Развитие паротепловой технологии добычи сверхвязкой нефти может иметь 2 направления: обеспечение рентабельной разработки без ухудшения качества нефти или достижение высокого коэффициента нефтеизвлечения. При паротепловом воздействии значительное количество тяжелых углеводородных компонентов остается в породе пласта, что приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств. Для наиболее полного извлечения сверхвязкой нефти (в частности, тяжелых углеводородных компонентов) необходимо применение других технологий или совершенствование существующих путем добавки к закачиваемому пару реагента, обеспечивающего более эффективное извлечение тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти.

В третьей главе

Обоснован комплекс экспериментальных исследований состава и свойств сверхвязкой нефти, включающий реологические, оптические и хроматографические исследования. Поскольку процессы добычи сверхвязкой нефти сопровождаются изменением структуры и состава нефти, понимание взаимосвязи реологических свойств и процессов структурообразования в нефтяной дисперсной системе позволит целенаправленно осуществлять подбор реагентов для добычи. Корреляция результатов хроматографических спектрофотометрических исследований нефти позволяет судить об изменении её группового углеводородного состава, что также позволяет получить ценную информацию при обосновании технологий воздействия на залежи сверхвязкой нефти.

Разработанная методика включает блок-схему с комплексом экспериментальных исследований для поэтапного выбора композиции растворителя для воздействия на сверхвязкую нефть (рис.6).



Рисунок 6 – Блок-схема выполнения экспериментальных исследований для поэтапного выбора композиции растворителя

На первом этапе с применением реологического метода исследования осуществляется выбор композиции растворителя на основе способности существенно снижать вязкость нефти (на 85% и более) при взаимодействии в температурном диапазоне 10-80°C. На втором этапе с применением оптического метода исследования осуществляется выбор композиции растворителя с минимальным влиянием на коллоидную устойчивость сверхвязкой нефти. На третьем этапе оценивается растворяющая способность композиции растворителя путём определения наилучшей степени диффузии композиции растворителя и наилучшей степени отмыва сверхвязкой нефти от кернового материала.

Комплексный выбор композиции растворителя направлен на повышение степени извлечения, как лёгких, так и тяжёлых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти, а также на предотвращение снижения фильтрационно-ёмкостных свойств пласта из-за осаждения тяжёлых углеводородных компонентов при техногенном воздействии на пласт.

В четвертой главе

Согласно разработанной методике на первом этапе с применением реологического метода исследования были протестированы 12 составов композиций растворителя, содержащих в разных концентрациях углеводородные растворители (растворитель промышленного производства ПАО «Татнефть», толуол, нефтяной растворитель) и различные виды ПАВ. Согласно результатам экспериментальных исследований в диапазоне температур от 10 до 80°C среди 12 исследуемых составов наибольшее снижение (от 89,3 до 95,8%) значений динамической вязкости сверхвязкой

нефти Ашальчинского месторождения было отмечено после добавления составов «А», «Б», «В» и «Г» (табл.1).

Таблица 1 – Состав композиций растворителя, отобранных по результатам реологических исследований

Условное обозначение композиции растворителя	Состав композиции растворителя
Состав «А»	80% растворитель промышленный + 16,3% толуол + 3,5% нефтяной растворитель + 0,2% неионогенный ПАВ
Состав «Б»	80% растворитель промышленный + 12,3% толуол + 7,5% нефтяной растворитель + 0,2% неионогенный ПАВ
Состав «В»	90% растворитель промышленный + 9,9% толуол + 0,1% ПАВ на основе 2-аминоэтил-алкилмидазолин
Состав «Г»	85% растворитель промышленный + 15% толуол

В дальнейшем при исследовании влияния перечисленных четырех композиций растворителя на динамическую вязкость обезвоженных образцов добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения (остаточная концентрация воды менее 3%) подтверждена эффективность составов «А», «Б» и «В» (снижение динамической вязкости нефти более чем на 85% во всем диапазоне температур). Выявлено, что при взаимодействии двухкомпонентного состава «Г» с нефтью эффективность снижения динамической вязкости нефти существенно ниже (на 15-20%) в сравнении с другими исследуемыми составами. Установлено, что при циклическом понижении и повышении температур в диапазоне от 10 до 80°C динамическая вязкость сверхвязкой нефти увеличивается в среднем на 8%.

На втором этапе с применением оптического метода исследования проводилась оценка коллоидной устойчивости сверхвязкой нефти путём измерения коэффициента светопоглощения $K_{сп}$ и концентрации асфальтенов в нефти после взаимодействия с аналогичными 12 составами композиций растворителя. Поскольку повышение значения $K_{сп}$ нефти коррелируется с увеличением концентрации асфальтенов, для определения концентрации асфальтенов была построена калибровочная кривая. На основе результатов спектрофотометрических исследований рассчитаны значения коэффициента коллоидной устойчивости, характеризующего отношение концентрации асфальтенов в сверхвязкой нефти в смеси с композицией растворителя к концентрации асфальтенов в контрольной пробе сверхвязкой нефти (рис.7).

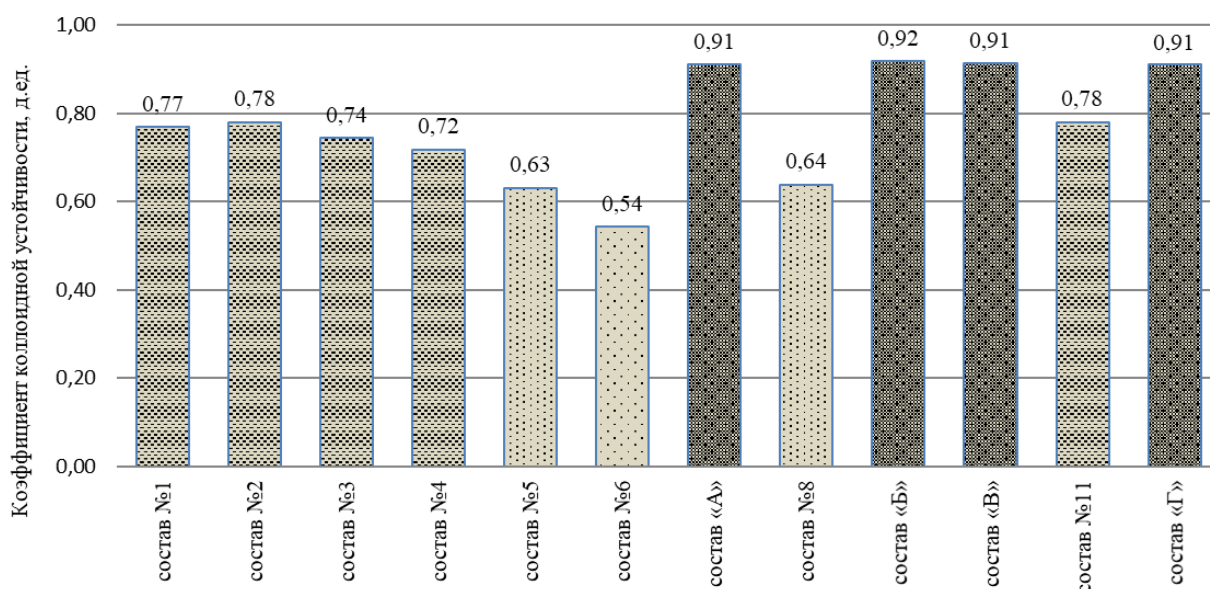


Рисунок 7 - Распределение коэффициента коллоидной устойчивости по пробам нефти в смеси с композициями растворителя

На основе полученных расчетных значений выбраны составы «А», «Б», «В» и «Г», растворы которых при смешении с нефтью обладают наиболее близкими значениями концентрации асфальтенов в сравнении с раствором контрольной пробы сверхвязкой нефти. При сопоставлении результатов оптических и реологических исследований выбраны составы «А», «Б» и «В», которые эффективно снижают динамическую вязкость и не способствуют снижению коллоидной устойчивости сверхвязкой нефти.

На третьем этапе оценивалась растворяющая способность композиций растворителя (степень диффузии и степень отмыва) с использованием битумонасыщенного кернового материала шешминского горизонта Ашальчинского месторождения. Исследование степени диффузии, характеризующей способность композиции растворителя за счет диффузионного проникновения молекул растворителя в нефть образовывать однофазную жидкость, проводились при температурах 20, 50 и 80°C и продолжительности воздействия 1, 4 и 8 часов (рис.8).

Выявлено, что для всех композиций растворителя отмечается увеличение диффундирующей способности с увеличением температуры воздействия, поскольку скорость движения молекул возрастает при нагреве и времени воздействия. Наибольшие значения степени диффузии с учетом всего диапазона температур и времени воздействия характерны для составов «А» и «Б», состоящих из смеси углеводородных растворителей и неионогенного ПАВ.

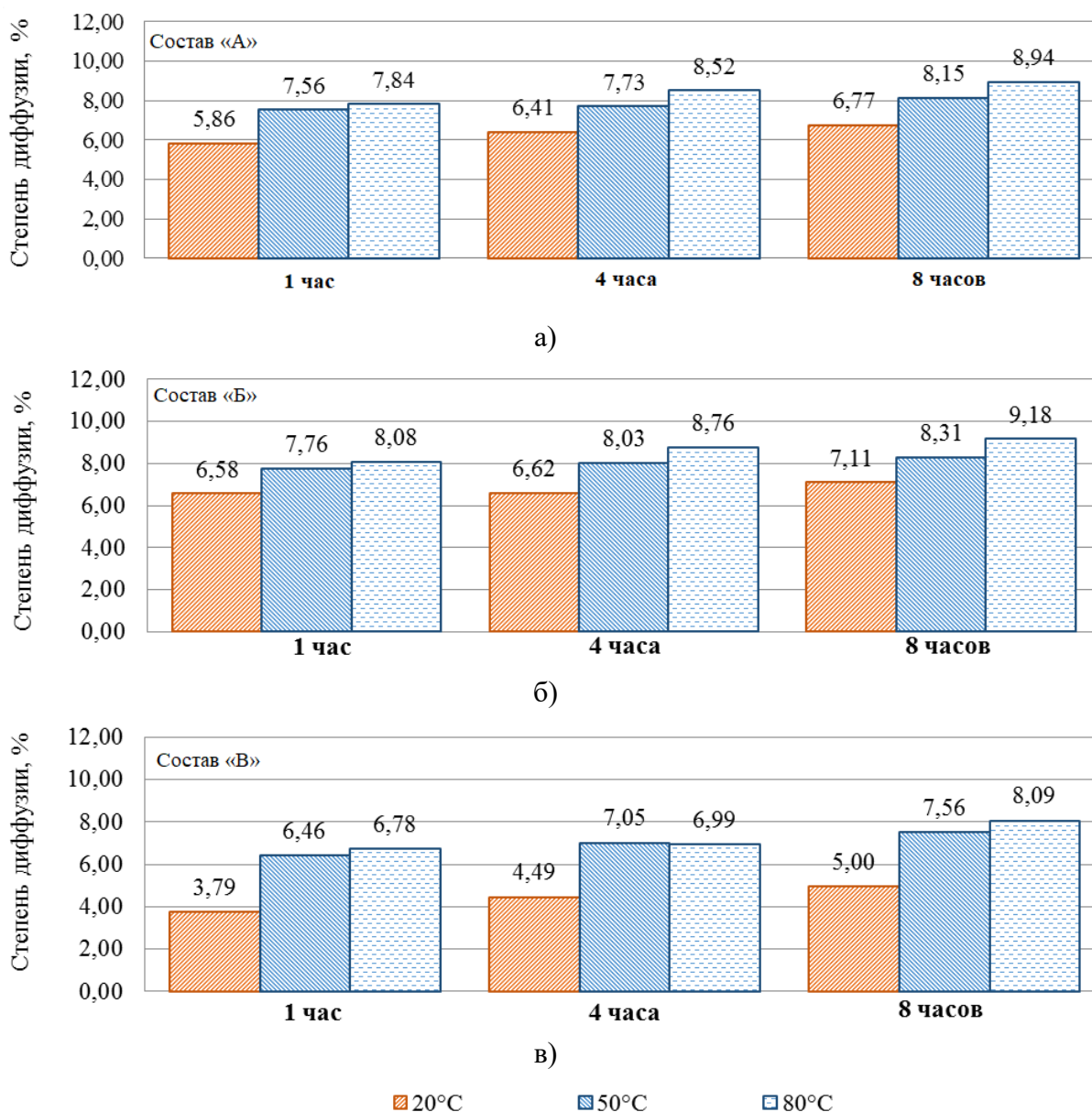


Рисунок 8 – Зависимость степени диффузии композиций растворителя (а - состав «А», б - состав «Б», в - состав «В») от температуры и времени воздействия

Полученные значения степени отмыва являются цифровой характеристикой отмывающей способности композиции растворителя при взаимодействии с керновым материалом. Степень отмыва перечисленных двух составов превышает степень отмыва состава «В» в среднем на 15%. Составы «А» и «Б» различаются лишь по концентрации толуола и нефтяного растворителя, что позволило сравнить сочетание их концентраций для оценки их влияния на степень отмыва сверхвязкой нефти от кернового материала (рис.9). В ходе экспериментальных исследований выявлено, что наличие в составе композиций растворителя неионогенного ПАВ обеспечивает более высокую степень диффузии и степень отмыва нефти от кернового материала.

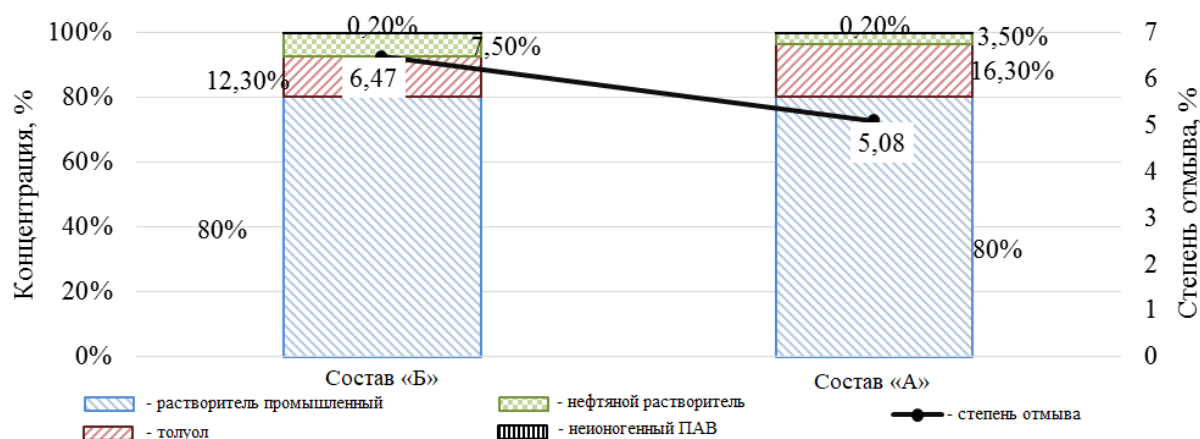


Рисунок 9 – Зависимость степени отмыва от состава композиций растворителя

После определения наиболее эффективных составов композиций растворителя был выполнен сравнительный анализ компонентного состава сверхвязкой нефти, вытесненной из насыпной модели пласта с применением паротеплового и химического воздействий. В первом случае был проанализирован компонентный состав сверхвязкой нефти, вытесненной из насыпной модели с битумонасыщенным керновым материалом шешминского горизонта Ашальчинского месторождения с использованием выбранных композиций растворителя и паротеплового способа воздействия (рис.10).

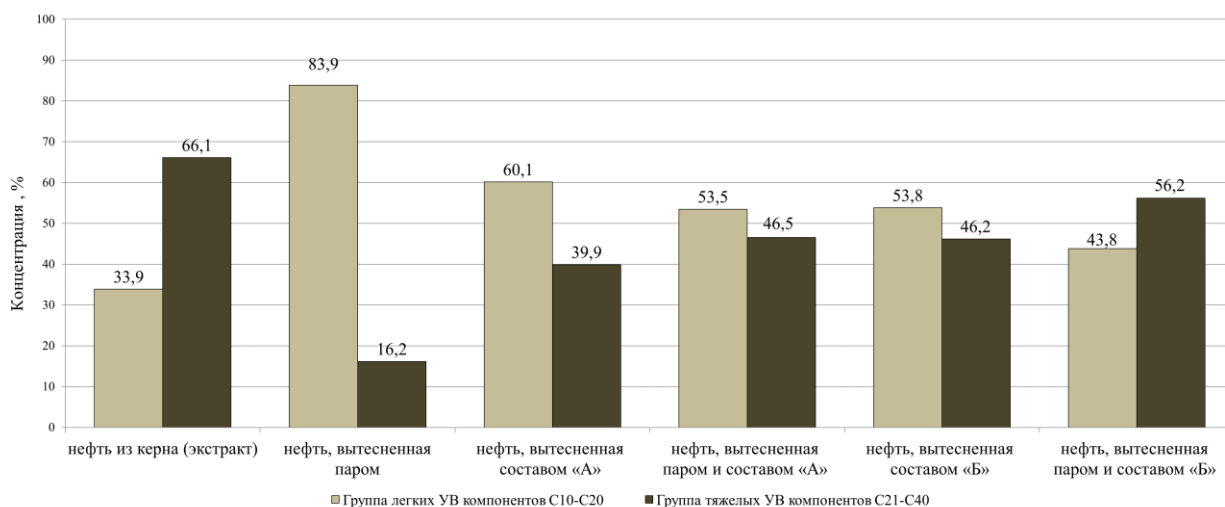


Рисунок 10 – Распределение групп углеводородных компонентов в составе нефти при вытеснении из насыпной модели с битумонасыщенным керном

Сравнительный анализ компонентного состава вытесненной сверхвязкой нефти позволил установить, что по сравнению с вытеснением нефти только паром применение комплексного воздействия пара и композиции растворителя способствует существенному увеличению (на 65%) содержания высокомолекулярных алканов ряда $C_{21}-C_{40}$ (в частности $C_{30}-C_{40}$ – на 78%) в составе вытесняемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

Во втором случае был проанализирован компонентный состав сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения, вытесненной паром и композициями растворителя из насыпной модели с искусственным нефтенасыщенным кварцевым песком (рис.11).

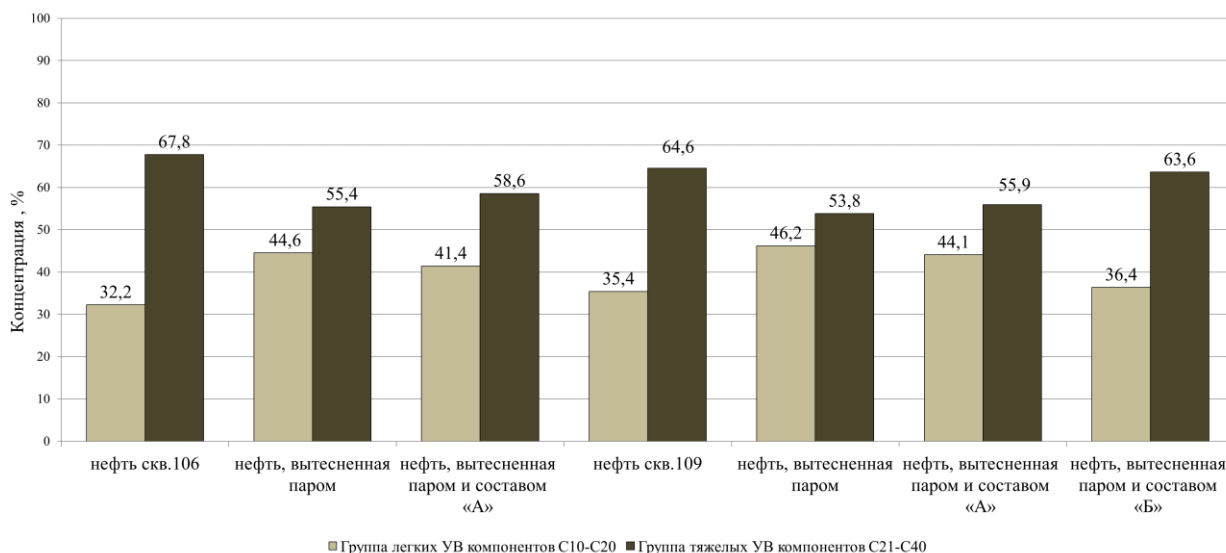


Рисунок 11 – Распределение групп углеводородных компонентов в составе сверхвязкой нефти при вытеснении из насыпной модели с нефтенасыщенным кварцевым песком

Подтверждено, что комплексное воздействие пара и композиции растворителя способствует повышению (на 10%) степени извлечения высокомолекулярных алканов ряда $C_{21}-C_{40}$ в составе вытесняемой сверхвязкой нефти. Выявлено, что при вытеснении сверхвязкой нефти паром и составом «Б» компонентный состав вытесненной нефти соответствует компонентному составу добываемой сверхвязкой нефти, которой насыщался кварцевый песок (коэффициент вариации менее 30%), что свидетельствует о существенном снижении потерь углеводородных компонентов при вытеснении нефти.

Таким образом, предложенный комплекс экспериментальных исследований позволил разработать композицию растворителя, совместное использование которой с паротепловым воздействием способствует повышению степени извлечения тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований позволили сделать следующие основные выводы и рекомендации:

1. Анализ современных методов изучения состава и свойств сверхвязкой нефти позволил выявить необходимость применения комплекса экспериментальных исследований на основе системного подхода с учетом изменения состава добываемой сверхвязкой нефти, технологических рисков и взаимовлияния технологических процессов. Экспериментально доказано, что вследствие гидротермального воздействия значительное количество тяжелых компонентов остается в пласте, что, как известно, приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов и снижению нефтеизвлечения. Показана необходимость исследования неоднородности состава и свойств нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти при обосновании технологии воздействия.

2. С применением хроматографических и оптических методов исследования установлены различия в составе и свойствах нефти из керна и добываемой сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения. Экспериментально доказано, что содержание высокомолекулярных алканов ряда C_{30} - C_{40} и ароматических соединений в составе нефти из керна существенно больше, чем в составе добываемой нефти. С применением методов математической статистики установлена высокая степень неоднородности компонентного состава нефти из керна и содержания в ней ароматических соединений. Экспериментально доказано, что увеличение температуры воздействия выше $50^{\circ}C$ способствует увеличению степени неоднородности компонентного состава и реологических свойств добываемой сверхвязкой нефти, что свидетельствует о влиянии технологии добычи на её состав и свойства.

3. Показано, что корреляция результатов хроматографических, реологических и оптических исследований сверхвязкой нефти позволяет обосновать технологию воздействия на залежи сверхвязкой нефти. С учетом полученных данных предложена методика с комплексом экспериментальных исследований, позволяющая подобрать композицию растворителя, обеспечивающей более эффективное извлечение тяжелых углеводородных компонентов сверхвязкой нефти.

4. Разработан и предложен к применению состав композиции растворителя, не оказывающий существенного влияния на коллоидную устойчивость сверхвязкой нефти и обладающий высокой степенью диффузии и отмыва. Экспериментально доказано, что подбор и использование предлагаемой композиции растворителя совместно с закачиваемым паром позволяет достичь синергетического эффекта и значительно увеличить степень извлечения тяжелых компонентов сверхвязкой нефти, предотвращая, тем самым, их осаждение в пластовой системе.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:

Список работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Гуськова, И.А. Методические подходы к исследованию влияния температуры на компонентный состав сверхвязкой нефти / И.А. Гуськова, В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин, И.М. Ишкулов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – №6. – С.61-64.
2. Хисамов, Р.С. Комплексные исследования состава и свойств битуминозной нефти Ашальчинского месторождения / Р.С. Хисамов, Е.Ф. Захарова, Д.М. Гумерова, В.А. Саяхов // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №10. – С.68-71.

Список публикаций в других научных изданиях:

3. Guskova, I.A. Gas-liquid chromatography for comparing crude oil core and bitumen sample compositions / I.A. Guskova, D.M. Gumerova, R.L. Budkevich, V.A. Sayakhov, I.M. Ishkulov // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2018 Science and Technologies in Geology, exploration and mining conference proceedings: сб. тр. науч.-практич. конф. – Albena. – 2018. – С.107-112.
4. Khayarova, D.R. To justify technological solutions to enhance oil recovery of high-viscosity oil reservoirs / D.R. Khayarova, L.I. Garipova, A.V. Nasybullin, I.A. Guskova, V.A. Sayakhov // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2019 Science and Technologies in Geology, exploration and mining conference proceedings: сб. тр. науч.-практич. конф. – Albena. – 2019. – С.701-708.
5. Саяхов, В.А. К вопросу влияния температуры и растворителей на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: сб. тр. науч.-практич. конф. – Пермь: ПНИПУ. – 2016. – С.36-39.
6. Саяхов, В.А. Методические подходы к исследованию влияния температуры и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Р.А. Петров // XVIII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2017»: материалы конференции (12–14 апреля 2017 г.). В 5 ч. Ч. 4. – Ухта: УГТУ. - 2018. – С.185-189.
7. Гуськова, И.А. Исследование влияния термического воздействия на изменение свойств керн и СВН / И.А. Гуськова, В.А. Саяхов, И.М.

- Ишкулов // Булатовские чтения: сб. тр. науч.-практич. конф. – Краснодар. – 2017. – Т.2. – С.68-70.
8. Саяхов, В.А. Исследование физико-химических свойств сверхвязкой нефти месторождений Республики Татарстан / В.А. Саяхов // Булатовские чтения: сб. тр. науч.-практич. конф. – Краснодар. – 2017. – Т.2. – С.269-270.
 9. Саяхов, В.А. Оценка влияния температуры и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, А.А. Хайрутдинова // Булатовские чтения: сб. тр. науч.-практич. конф. – Краснодар. – 2017. – Т.2. – С.265-268.
 10. Саяхов, В.А. Оценка влияния температуры и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Н.К. Исроилов // Сборник тезисов докладов 71-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2017». – Москва. – 2017. – Т.1. – С.237.
 11. Ишкулов, И.М. Исследование влияния термического воздействия на изменение свойств керна и СВН / И.М. Ишкулов, В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: сб. тр. науч.-практич. конф. – Тюмень: ТИУ. – 2017. – С.142-145.
 12. Саяхов, В.А. Исследование изменения компонентного состава сверхвязкой нефти при нагреве / В.А. Саяхов, Л.Р. Шайхразиева, Н.К. Исроилов // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: сб. тр. науч.-практич. конф. – Тюмень: ТИУ. – 2017. – С.109-115.
 13. Саяхов, В.А. Оценка влияния температуры и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин, Н.К. Исроилов // Сборник работ молодёжной научно-практической конференции ПАО «Татнефть», посвященной 55-летию НГДУ «Елховнефть». – г.Альметьевск. – 2017. – С.138-140.
 14. Саяхов, В.А. Оценка влияния температуры и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин, Р.А. Петров // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: сб. тр. науч.-практич. конф. – Альметьевск: АГНИ. – 2017. – С.190-195.
 15. Саяхов, В.А. Методические подходы к исследованию влияния высоких температур и химреагентов на компонентный состав сверхвязкой нефти / В.А. Саяхов, Л.К. Шайдуллин // Рассохинские чтения: материалы

- международной конференции (1–2 февраля 2018 года). В 2 ч. Ч. 2 / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ. - 2018. – С.69-72.
16. Саяхов, В.А. К вопросу типизации битуминозной нефти на основе хроматографических методов исследования / В.А. Саяхов // Учёные записки Альметьевского государственного нефтяного института: сб. тр. науч.-практич. конф. – Альметьевск: АГНИ. – 2018. – С.79-83.
 17. Саяхов, В.А. Сравнительный анализ компонентного состава битуминозной нефти, вытесненной из модели пласта паром и композицией растворителя / В.А. Саяхов, И.Е. Белошапка // Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2018. – С.81-85.
 18. Саяхов, В.А. К вопросу совершенствования технологии добычи сверхвязкой нефти // Учёные записки Альметьевского государственного нефтяного института: сб. тр. науч.-практич. конф. – Альметьевск: АГНИ. – 2019. - С.33-37.
 19. Саяхов, В.А. Совершенствование технологии добычи сверхвязкой нефти на основе комплексных экспериментальных исследований / В.А. Саяхов // Сборник тезисов докладов 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019». – Москва. – 2019. – Т.1. – С.316-317.