

На правах рукописи



КАМЫШНИКОВ АНТОН ГЕННАДЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАССЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОВЫРАБОТАННЫХ  
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАТАРСТАНА**

Специальность 2.8.4. – Разработка и эксплуатация  
нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Альметьевск - 2025

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

**Научный руководитель:**

**Зарипов Азат Тимерьянович**

доктор технических наук

**Официальные оппоненты:**

**Хозяинов Михаил Самойлович**

доктор технических наук, профессор,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Университет “Дубна”», профессор кафедры общей и  
прикладной геофизики

**Осипов Андрей Валерьевич**

кандидат технических наук,  
менеджер проектов блока по внедрению химических  
методов увеличения нефтеотдачи общества с  
ограниченной ответственностью «Газпромнефть –  
Технологические партнерства»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический  
университет»

Защита состоится 4 декабря 2025 года в 14.00 на заседании диссертационного совета 72.1.021.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» по адресу: 423462, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Советская, д. 186А, аудитория 6А.35.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института и на сайте Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти [www.tatnipi.ru](http://www.tatnipi.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Кабилова Алесия Хатиповна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Последняя стадия разработки нефтяных месторождений обусловлена максимальной выработкой запасов, что усложняет поддержание требуемого уровня добычи нефти. На позднем этапе доизвлечение нефти реализуется за счет методов повышения нефтеотдачи и уплотняющего бурения, которое позволяет вовлечь в разработку ранее незадействованные зоны фильтрации. Ромашкинское месторождение, как и большинство других месторождений ПАО «Татнефть», находится на последней стадии разработки, что делает задачу по вовлечению ранее не задействованных запасов наиболее приоритетной и актуальной. В связи с этим возникает необходимость в наличии (развитии) методов научного и методологического сопровождения, которые позволят повысить эффективность проводимых мероприятий и снизить процент неуспешных операций.

Одним из прямых методов изучения параметров межскважинного пространства и оценки гидродинамической картины участка разработки является трассерный метод исследования. Технология применима как для терригенных, так и карбонатных коллекторов и используется со второй половины XX века. Несмотря на большое количество исследований, проблематику использования трассерного метода как инструмента диагностики зон дополнительного бурения и системы заводнения карбонатных коллекторов нельзя считать решенной. Отсутствуют достаточное количество сценариев использования метода трассеров, а большинство последних работ в области метода маркеров направлены на актуализацию гидродинамической модели, оценку нефтенасыщенности и контроль профиля притока, что безусловно является важной задачей, однако оставляет в стороне т.н. стандартные трассерные исследования межскважинного пространства. Во-первых, отсутствует описание проблемы длительности трассерных исследований, которые не позволяют зафиксировать основную часть закачиваемой жидкости. Это относит сформированные по результатам краткосрочных тестов выводы о гидродинамической картине очага заводнения в область прогнозных значений, а не фактических, т.к. в большинстве исследований происходит идентификация только зон низкого фильтрационного сопротивления (зоны, по которым движение жидкости происходит со скоростью, превышающей максимальную скорость для пласта, рассчитанной на основе закона Дарси). Во-вторых, отсутствуют различия в подходе при планировании, интерпретации и анализе результатов исследований, выполненных в карбонатных и терригенных коллекторах. Учитывая существенные отличия между терригенными и карбонатными коллекторами, а также меньшую эффективность системы заводнения в карбонатных коллекторах, разработка системного подхода при планировании, реализации и применении результатов трассерных межскважинных

исследований для различных геологических объектов на поздней стадии разработки месторождений является актуальной задачей.

### **Степень разработанности темы**

Трассерные исследования с целью отслеживания фильтрационных потоков от нагнетательных скважин и изучения межскважинного пространства широко реализуются со второй половины XX века. Кроме того, метод маркеров получил широкое развитие в смежных областях, таких как: экологический мониторинг, контроль профиля притока, мониторинг эффективности многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП), оценка нефтенасыщенности, отслеживание и маркирование нефтепродуктов и т.д. Наличие нескольких направлений и фактор расширения области применения (особенно с 90-х годов XX века) свидетельствует о развитии метода, как инструмента мониторинга и диагностики, а также глубоком изучении принципа метода и возможностях его интеграции в производственный процесс нефтедобычи.

Указанные направления метода маркеров и настоящее диссертационное исследование опирается на работы Г.П. Антонова, А.И. Бакирова, А.В. Болотова, Р.Н. Дияшева, В.И. Зайцева, А.С. Макарова, М.Н. Мингазова, Р.Х. Муслимова, Р.Х. Низаева, Э.В. Соколовского, Тренчикова, А.С. Трофимова, Р.С. Хисамова, М.С. Хозяинова, Д.А. Чернокожева, Al-Abbad, H.A. Deans, J.W. Kirchner, S. Mario, A. Salman, M. Sanni, G.I. Taylor.

### **Цель работы**

Повышение эффективности разработки нефтяного месторождения на основании повышения информативности результатов трассерных исследований и их интеграции в производственный и методологический процесс нефтедобычи.

### **Основные задачи исследования**

1. Изучить области использования метода трассеров в направлении нефтегазодобычи, обозначить особенности различных технологий, а также выполнить классификацию метода маркеров.

2. Обозначить области фактических данных, получаемых по результатам исследований. Выполнить оценку достаточности полученных данных для решения задачи изучения зон дополнительного бурения. Определить количественный критерий, который является идентификатором риска обводнения.

3. Выполнить оценку результатов трассерных исследований карбонатных коллекторов и оценить возможность их использования для планирования корректирующих мероприятий. Разработать подход и предложить методы анализа выходных результатов исследований для ранжирования очагов заводнения по эффективности воздействия.

4. Сформировать подход и обозначить особенности выполнения технологий трассерных исследований при решении задач исследования зон дополнительного бурения и повышения эффективности системы заводнения карбонатных коллекторов.

### **Научная новизна диссертационной работы**

1. Установлено, что для кыновско-пашийского объекта разработки доля выхода трассера в значении  $\geq 0,5 \%$  ( $\pm 10 \%$ ) по каналам низкого фильтрационного сопротивления со значением проницаемости более  $1,0 \text{ мкм}^2$  является признаком активности зон низкого фильтрационного сопротивления, обеспечивающих повышенную обводненность пробуренных скважин закачиваемой водой. Обводненность добывающих скважин, размещенных в этих зонах, превышает обводненность добывающих скважин вне зоны активности в 2,03-2,09 раз.

2. Для кизеловского горизонта выявлена экспоненциальная зависимость между значением прямой гидродинамической связи (доля выхода индикатора) и давлением закачки в нагнетательной скважине. Ухудшение гидродинамической связи является следствием превышения значения раскрытия трещин (режим авто-ГРП). Максимальное влияние достигается на режиме, исключающим авто-ГРП. Создание режима авто-ГРП провоцирует работу единичных трещин без вовлечения в разработку объемных зон фильтрации, что ухудшает значение гидродинамической связи приблизительно в 8 раз.

3. Разработан новый трассер для межскважинных трассерных исследований на основе производных куркумина. Производные куркумина были получены впервые путём конденсации борфторированного ацетилацетона и 4-[Бис[2-(ацетилокси)этил]амино] бензальдегида с последующим гидролизом в основной среде с общим выходом продуктов порядка 83 и 72 %. Полученное соединение обладает высокой устойчивостью к компонентам пластового флюида, а также выраженной люминесценцией в красной области спектра (575–660 нм) с большим Стоксовым сдвигом (100–160 нм).

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Предложена структура и разработана классификация метода маркеров. Сформированный классификатор отображает области использования метода, решаемые задачи и особенности проведения работ (в т.ч. используемый тип маркера), а также повышает понимание применимости технологии и отдельных её инструментов для решения задач нефтегазодобывающей отрасли.

2. Использование метода трассерных тестов в качестве инструмента изучения зон дополнительного бурения позволило выявить риск преждевременного обводнения закачиваемой водой для 37 % изучаемых точек проектного бурения. Получение информации об опережающем обводнении и снижение неопределённости по продвижению фронта заводнения позволило

снизить риски обводнения новых скважин в т.ч. путем оптимизации ковра бурения (смещение проектных точек в сторону от зафиксированного пути флюидопроводимости).

3. Реализация предложенной методологии проведения системных трассерных исследований кизеловского горизонта позволила выявить участки (нагнетательные скважины) с непроизводительной закачкой и сформировать корректирующие мероприятия. По результатам выполненных исследований 10 участков нагнетательных скважин и сформированных корректирующих мероприятий объемы месячной закачки были сокращены на 27,2 %, что за три месяца дало экономию воды в объеме 11113 м<sup>3</sup>.

4. Разработана методика одновременного детектирования 8 флуоресцентных и 8 спиртовых трассеров при их одновременном присутствии в пластовых водах для одновременного изучения и сравнения крупных очагов заводнения карбонатных коллекторах. Кроме того, характеристики разработанного трассера на основе производных куркумина обеспечивают его селективную детекцию на фоне традиционных флуоресцентных трассеров (флуоресцеинового и родаминового рядов) и естественной люминесценции пластовых флюидов. Предложенные способы выполнены на уровне изобретений и защищены патентами РФ.

#### **Методология и методы исследований.**

Для решения поставленных задач были использованы (рассмотрены) хроматографические и спектрофлуориметрические методы (методы количественной идентификации трассерных веществ), закон Дарси (определение зон низкого фильтрационного сопротивления), формула Итона (расчёт давления авто-ГРП), аналитический и статистический анализ (обработка результатов концентраций трассера). Эксперименты и исследования проводилось с использованием оборудования: «Флюорат-02-Панорама» (РФ, Санкт-Петербург), Hitachi F-7000 (Япония), Gas Chromatograph GCMS 2010 Plus (Shimadzu, Япония). Аналитической (анализируемой) базой послужили 47 выполненных трассерных исследований на объектах карбонатных и терригенных коллекторов Республики Татарстан поздней стадии разработки.

#### **Основные защищаемые положения**

1. Метод маркеров охватывает широкую область задач нефтегазовой отрасли. Каждая технология трассеров имеет свои особенности и направлена на решение конкретных задач. Отсутствует универсальный подход или (трассерное) вещество, которые можно использовать для решения всего перечня возможных исследований. Выбор метода или вещества зависит от поставленной задачи. Ввод классификатора с обозначением возможностей каждого направления повышает понимание особенностей реализации метода маркеров.

2. Метод трассерных межскважинных исследований позволяет идентифицировать зоны опережающего обводнения в точках дополнительного бурения и минимизировать риск получения обводненной продукции при бурении новых добывающих скважин. Значение выноса

трассера  $\geq 0,5$  % от закачанного объема ( $\pm 10$  % в зависимости от погрешности метода обнаружения) является фактором отмены или смещения точки бурения.

3. Изучение карбонатных коллекторов трассерным методом на единичной скважине является низкоинформативным. Полноценные диагностические данные являются следствием комплексирования геолого-промысловых параметров с результатом изучения работы нескольких нагнетательных скважин, позволяющих выполнить сравнение конкретного участка заводнения относительно других. Использование указанного подхода позволяет выполнить диагностику работы системы поддержания пластового давления (ППД) и сформировать/выполнить корректирующие мероприятия при её недостаточной эффективности (как для карбонатных, так и терригенных объектов). Необходимость выполнения многоиндикаторного метода диктует условие использования широкой линейки трассеров, представленной 10-15 различными наименованиями (в зависимости от размера площади и количества изучаемых объектов).

4. Метод межскважинных трассерных тестов в карбонатных коллекторах (на примере кизеловского горизонта) путем сравнения полученных данных различных участков нагнетательных скважин и комплексированием полученной информации смежными геолого-промысловыми данными является инструментом идентификации наличия непроизводительной закачки. Определение её наличия и обозначение диапазона её снижения позволяет оптимизировать суточные объемы закачки и сократить объемы закачиваемой воды.

#### **Достоверность и обоснованность диссертационной работы**

Основные положения и отдельные части диссертационной работы были опубликованы в ведущих российских журналах, а также были представлены на региональных и международных конференциях. Достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью полученных данных с имеющимися теоретическими и практическими подходами при разработке карбонатных коллекторов, а также с результатами, полученными другими авторами. Результаты, используемые для анализа и формирования выводов получены с использованием современного высокоточного оборудования.

#### **Апробация работы**

Представленные в работе результаты были использованы при выполнении проекта (НИОКР) «Разработка широкой линейки трассеров для выполнения трассерных исследований в карбонатных коллекторах».

Основные положения и результаты были представлены на научно-практических конференциях:

- Молодежная научно-практическая конференция института «ТатНИПИнефть», Бугульма, 2014 г.

- Международная научно-практическая конференция к 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан, Альметьевск, 2016 г.

- Инновации в разработке нефтяных и газовых месторождений, международная научно-практическая конференция к 100-летию со дня рождения В.Д. Шашина, Казань, 2016 г.

- Научно-практическая конференция, посвященная 60-летию «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть», Набережные Челны, 2016 г.

- IV международная научно-практическая конференция «Химические методы увеличения нефтеотдачи», Казань, 2025 г.

### **Публикации**

В рамках диссертационного исследования опубликовано 19 научных работ, среди которых 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 патента.

### **Личный вклад**

Все результаты и выводы, представленные в диссертационной работе, выполнены и получены автором лично и при непосредственном его участии: разработка плана, программы лабораторных мероприятий и исследований, выполнение полевой части работ и интерпретации, обработка и анализ полученных данных, соотнесение полученных результатов относительно имеющихся теоретических подходов и разработка рекомендации по внедрению результатов исследований, выполнение моделирования по рабочим спектрам и прогнозирование свойств трассерного вещества.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка используемой литературы. Общий объем диссертации изложен на 147 страницах, содержит 44 рисунка, 24 таблицы. Список использованной литературы включает 160 наименований.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность за помощь в организации, выполнении и оформлении результатов работ кандидату технических наук Береговому А.Н., за профессиональные рекомендации доктору технических наук, профессору Насыбуллину А.В., за поддержку и помощь, оказанные при работе над диссертацией научному руководителю, доктору технических наук Зарипову А.Т. Автор благодарит за методологическую поддержку и помощь в проверке и верификации полученных результатов старшего научного сотрудника отдела увеличения нефтеотдачи пластов, кандидата технических наук Насыбуллину С.В., заведующего сектором отдела исследования скважин, коллекторов и углеводородов Смотрикова Н.А. Отдельно автор выражает благодарность доценту кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, кандидату химических наук Болотову А.В., доценту



кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова, главному научному сотруднику научно-исследовательской лаборатории «Малотоннажная химия», кандидату химических наук Заирову Р.Р. за помощь и методологическое сопровождение в области органической химии, хроматографического и люминесцентного анализа.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена актуальность работы, проблематика по направлению исследования, поставлены цели и задачи исследований, научные результаты и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен литературный и информационный поиск по направлению трассерных методов. Метод маркеров используется для оценки гидродинамической связи между скважинами и диагностики межскважинного пространства, значения нефтенасыщенности в оклоскважинном и межскважинном пространстве, определению профиля и состава притока в горизонтальных скважинах (в т.ч. при МГРП), экологических изысканиях. Каждое направление характеризуется своими особенностями в используемых составах, подходом к выполнению работ, интерпретации и анализе результатов исследований. При наличии широкого распространения метода трассеров отсутствует описанная классификация метода для возможности структуризации особенностей выполняемых задач и используемых трассерных веществ. Отмечается, что чрезмерная обобщенность понятий затрудняет понимание применимости технологии и ее отдельных инструментов для решения задач недропользователя. Также отмечается необходимость длительного периода наблюдения, для фиксации основной части закачанной жидкости и отсутствие разных подходов при проведении т.н. «стандартных» трассерных межскважинных исследований в терригенных и карбонатных коллекторах. Таким образом, обозначена проблематика метода трассеров, внутри которой выполнены исследования.

**Во второй главе** представлена разработка классификатора метода маркеров относительно решаемых задач и области использования (скважинные операции, межскважинные зоны и т.д.) - кластеры. Представлены типы и основные характеристики используемых трассерных веществ внутри каждого кластера, а также выводы о необходимости разделения различных направлений трассерных исследований для детализации выполняемых задач и связанной с этим проблематикой. Разработанный вариант классификатора с обозначением решаемых задач внутри каждого направления технологии маркеров представлен на рисунке 1.

Кластер	Скважина и скважинные операции		Геология и параметры межскважинных интервалов			
Блок технологии	Мониторинг профиля притока и изоляции интервалов		Межскважинные трассерные исследования		Оценка текущей нефтенасыщенности	
Вид реализации технологии	Маркировка околоскважинного пространства	Маркировка эксплуатационных интервалов	Импульсная закачка маркера в нагнетательную (-ые) скважины	Постоянная закачка трассера в нагнетательную скважину	Проведение околоскважинных тестов	Проведение межскважинных тестов
Решаемая задача						
Контроль пофазового притока эксплуатационного интервала (+определение интервала обводнения)	○	○				
Контроль изоляции интервалов	○	○	○			
Контроль разобщенности интервалов в скважинах ОРДиЗ		○	○			
Контроль эффективности МГРП	○	○				
Определение притока по всей длине трещины при МГРП	○					
Определение длины трещины при МГРП	○					
Оценка влияния режима разработки на продуктивность интервала эксплуатации (выбор режима)	○	○	○			○
Оценка гидродинамической связи между скважинами			○	○		○
Определение промытых зон			○			○
Определение ФЕС межскважинного пространства (объем, производительность, проницаемость)			○			○
Обозначение интерференции нагнетательных скважин			○	○		○
Распределение закачиваемой воды по добывающим скважинам			○	○		○
Определение скорости и направлений фильтрации			○			○
Обозначения связи между пластами/горизонтами			○	○		○
Оценка неоднородности пласта			○			○
Определение доли закачанной воды в дебите добывающих скважин			○	○		○
Уточнение (адаптация) Г.ДМ. Подготовка прогнозов	○	○	○	○	○	○
Определение коэффициента охвата				○		
Определение текущей нефтенасыщенности в околоскважинном пространстве					○	
Определение текущей нефтенасыщенности в межскважинных интервалах						○

Рисунок 1 - классификатор метода трассерных технологий и решаемых задач нефтегазодобывающей области

В третьей главе описан предлагаемый подход использования трассерного межскважинного метода для изучения зон дополнительного бурения с целью минимизации риска обводнения закачиваемой водой.

Выполненные автором работы по направлению трассерных исследований показывают, что за средний период наблюдений (3-6 месяцев), на поверхность выходит малая часть закачанного объема индикатора, значение которого находится в диапазоне от сотых долей (отложения среднего карбона) до 5-7% (отложения нижнего карбона) и в среднем составляет до 1%. Указанное значение выхода трассера относит сформированные на этом основании выводы о распределении фронта заводнения в область прогнозных, а не фактических данных (рисунок 2).

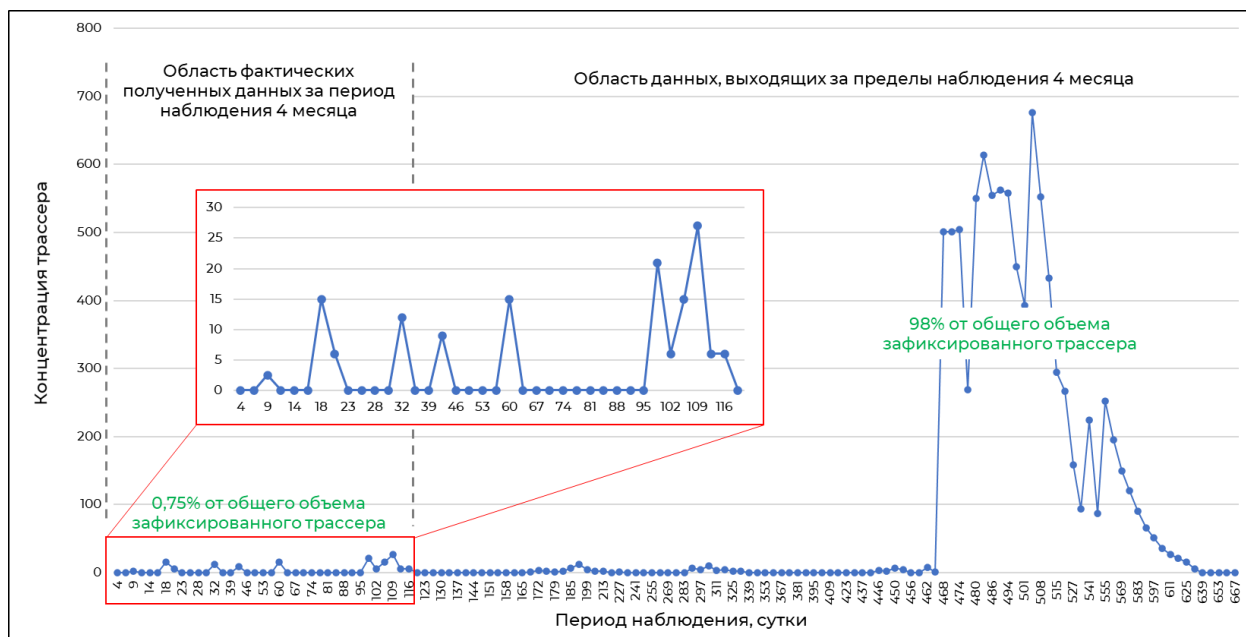


Рисунок 2 – Динамика выхода индикатора с фиксацией основного фронта движения фронта жидкости. Иллюстрация области фактических данных за 4 месяца наблюдения и 22 месяца на примере трассерных исследований бобриковского горизонта Ромашкинского месторождения

При этом нельзя интерполировать напрямую значения области фактических данных на прогнозную, т.к. между ними нет линейной зависимости. Таким образом, с целью получения наиболее точных данных по гидродинамической картине наблюдаемого участка, стоит опираться именно на фактическое значение извлеченного трассера за период исследований. Учитывая средние сроки наблюдения, которые составляют 3-6 месяцев, были рассмотрены отдельные задачи, решение которых возможно путем проведения относительно краткосрочных исследований без фиксации основного фронта жидкости. За указанный период происходит фиксация зон низкого фильтрационного сопротивления (НФС) и опережающего обводнения (для кыновско-пашийский отложений период их активности составляет 20-115 суток). Эта информация является полной и значимой при

проектировании зон дополнительного бурения, т.к. наличие опережающего обводнения в проектной точке приведет к обводнению добываемой продукции закачиваемой водой и значительно снизит эффективность и рентабельность пробуренной скважины.

На этапе оценки метода трассеров для решения задачи изучения зон дополнительного бурения были проведены исследования двух участков нагнетательных скважин объектов Д0, Д1 Ромашкинского месторождения. На этом этапе на основании трассерных исследований не принимались решения об отмене бурения, происходила только верификация прогноза о наличии/отсутствии риска обводнения закачиваемой водой после бурения и ввода в эксплуатацию новых добывающих скважин. Результаты выполненных работ показали наличие зон низкого фильтрационного сопротивления, диапазон проницаемости которых составил 0,94 – 8,9 мкм<sup>2</sup>. Доля индикатора, вышедшая по каналам НФС в зонах проектных точек, составила 0,52% для участка А и 0,6% для участка Б.

Схемы участков и краткие сводные результаты опытных работ представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

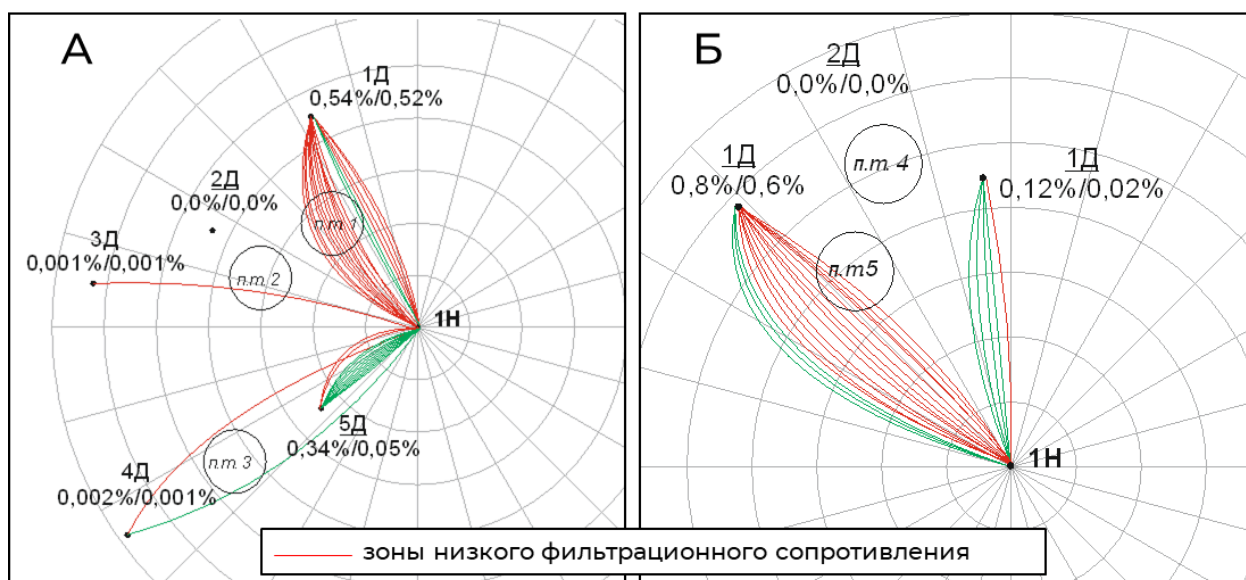


Рисунок 3. Распределение активности (доли) зон НФС в изучаемых направлениях фильтрации (векторная схема) опытных участков А, Б Ромашкинского месторождения

Таблица 1. Сводные данные результатов трассерных исследований и показателей обводненности опытного участка

Номер проектной скважины	Участок	Наличие зон опережающего обводнения по результатам трассерных тестов	Среднее значение обводненности (за все время наблюдения), %
1	А	Да. Наличие риска обводнения	38,4
2	А	Нет. Отсутствие риска обводнения	21,5
3	А	Нет. Отсутствие риска обводнения	16,3
4	Б	Нет. Отсутствие риска обводнения	28,2
5	Б	Да. Наличие риска обводнения	59,1

Среднее значение обводненности новых скважин, в зонах которых не отмечалось наличие рисков по обводнению закачиваемой водой, составило 18,9 % (участок А) и 28,2 % (участок Б), для проектных скважин с выявленным риском значение обводненности составило 38,4 % (участок А) и 59,1 % (участок Б). Таким образом, обводненность добывающих скважин, пробуренных в зонах зафиксированного опережающего обводнения, составила в 2,03 (участок А) и 2,09 (участок Б) раза больше от значения обводненности пробурённых скважин, находящихся вне зоны активности каналов НФС. Выявленное значение доли трассера принято в качестве границы высокого риска обводнения запланированных к бурению скважин для кыновско-пашийского объекта разработки. Кроме того, следует учитывать, что фиксация основного фронта заводнения в зоне проектной скважины даже при отсутствии или слабой активности зон НФС, требует повторного рассмотрения рисков у новых скважин.

Совокупно за период 2023-2024 г. были исследованы 8 участков нагнетательных скважин, изучено 19 проектных точек бурения (с учетом пилотных испытаний метода без отмены бурения). Для 6 участков были зафиксированы активные зоны опережающего обводнения, что было принято фактором высокого риска обводнения для 9 проектных добывающих скважин (47% от общего исследуемого фонда). Отдельные исследуемые участки показали отсутствие охвата заводнением отдельных направлений и, соответственно, отсутствие риска обводнения закачиваемой водой. Однако отсутствие фиксации трассера в скважинах изучаемого направления может говорить как об отсутствии охвата вследствие ухода закачиваемой жидкости по наиболее проводящим зонам фильтрации, так и об ухудшенных ФЕС в зонах проектных скважин, что также является важной информацией при планировании ковра бурения. Совокупно было отменено бурение 7 проектных добывающих скважин, что составляет  $\approx 37\%$  от общего исследуемого фонда дополнительного бурения. Также в разделе представлено описание и последовательность проведения трассерных исследований для изучения зон дополнительного бурения.

**В четвертой главе** представлен формат и результаты проведения исследований кизеловского горизонта респ. Татарстан. Сводные результаты выполненных исследований на 24-х участках (нагнетательных скважин) показывают, что диапазон значений извлеченного трассера составляет 0,002% - 0,09% (в среднем – 0,024%) от его закачанного объема при максимальном периоде наблюдения 270 суток. Это говорит о крайне слабой прямой гидродинамической связи, которая в среднем в 10-30 раз хуже, чем для кыновско-пашийских объектов разработки и в 40-60 раз ниже, чем для тульско-бобриковских отложений при менее продолжительном периоде наблюдения, который обычно не превышает 100-120 суток. Это показывает крайне слабую гидродинамическую связь на

изучаемых карбонатных объектах разработки и, как следствие, низкую эффективность системы ППД.

В разрезе отдельных (типовых) результатов исследований участка единичной нагнетательной скважины прослеживается, что абсолютное большинство исследуемых участков обладает: неравномерным фронтом заводнения, неохваченными зонами фильтрации, высокой неоднородностью по проницаемости, развитой системой трещиноватости, а также крайне низким значением выхода трассера (низкая эффективность нагнетательных скважин). Кроме того, полученные результаты подтверждают наличие гидродинамической связи между скважинами, что не позволяет однозначно сказать о неэффективности нагнетательных скважин. Однако в то же время по результатам работ индивидуальных участков в большинстве случаев нельзя сформировать мероприятия по повышению эффективности разработки, т.к. низкая доля зафиксированного трассера не позволяет сформировать заключение о движении значительного объема жидкости от нагнетательной скважины. Также, низкая доля извлеченного трассера не является обоснованием для ввода корректирующих мероприятий. Кроме того, на исследуемых объектах, ввиду технологических ограничений, нельзя реализовать технологии увеличения нефтеотдачи. Совокупность представленных факторов делают результаты проведенных исследований единичной нагнетательной скважин фактически неиспользуемыми.

Для повышения информативности результатов исследований было выполнено сравнение результатов исследований различных нагнетательных скважин кизеловского горизонта. Совмещение результатов позволило выполнить ранжирование объектов по относительному значению выявленной гидродинамической связи, которая отличается для «минимального» и «максимального» участка приблизительно в 20 раз. Распределение доли извлеченного трассера относительно давления закачки показало, что на участках с относительно высоким давлением закачки доля выхода трассера ниже, чем на участках с более низким давлением (рисунок 4).

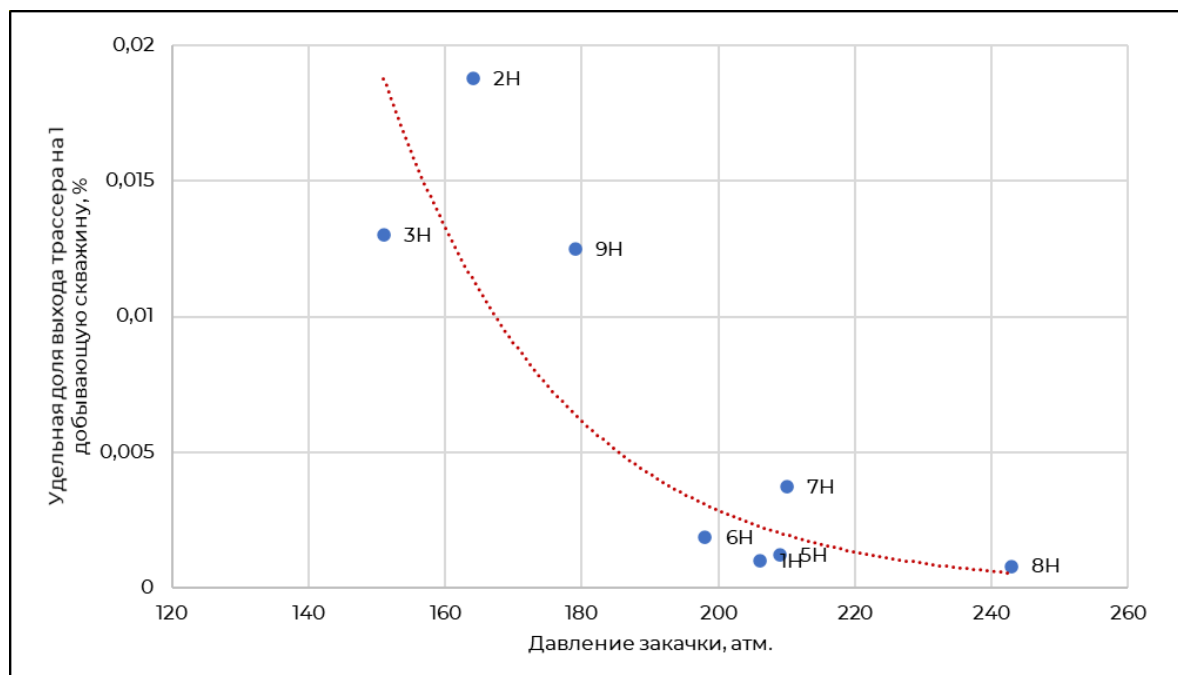


Рисунок 4. Зависимость доли выхода трассера от давления закачки

Построенная экспоненциальная зависимость позволила сформировать 2 группы участков – «эффективная», с наиболее высокой долей выхода трассера и «неэффективная» - с низкой долей трассера. Также было идентифицировано, что группа «эффективных» скважин отмечается иной динамикой выхода трассера в отличие от группы «неэффективных», в которых наблюдается работа отдельных трещин, не образующих систему. Также значение выявленной гидродинамической связи между сформированными группами отличается в 8-10 раз. Работа отдельных трещин не позволяет эффективно вовлечь крупные блоки матрицы в разработку, в то время как группа «эффективных» участков отмечалась динамикой выхода, соответствующей объемным зонам фильтрации и может свидетельствовать о вовлечении крупных блоков матрицы в работу (рисунок 5, 6).



Figure 1 consists of 12 subplots arranged in a 4x3 grid. Each subplot shows the concentration of transverse (y-axis) versus the observation period in days (x-axis). The x-axis for all plots ranges from 1 to 273 days, with major ticks every 21 days. The y-axis scale varies by plot, ranging from 0 to 4.5, 0 to 7, 0 to 45, 0 to 2.5, 0 to 16, 0 to 16, 0 to 7, 0 to 6, 0 to 9, and 0 to 2.5. Each plot displays two data series: a blue line with circular markers and a red line with triangular markers. The red line generally follows the blue line but with more pronounced peaks and troughs. Specific values are labeled above the peaks in each plot.

Row	Column	Peak 1 (Red)	Peak 2 (Red)	Peak 3 (Red)	Peak 4 (Red)	Peak 5 (Red)
1	1	0.56 мм <sup>3</sup>	0.43 мм <sup>3</sup>			
1	2	0.66 мм <sup>3</sup>	0.26 мм <sup>3</sup>	< 0.01 мм <sup>3</sup>		
1	3	4.34 мм <sup>3</sup>	0.88 мм <sup>3</sup>			< 0.01 мм <sup>3</sup>
2	1	3.75 мм <sup>3</sup>	1.48 мм <sup>3</sup>	1.19 мм <sup>3</sup>		
2	2	0.54 мм <sup>3</sup>	< 0.01 мм <sup>3</sup>			
2	3	0.43 мм <sup>3</sup>	0.33 мм <sup>3</sup>			< 0.01 мм <sup>3</sup>
3	1	3.27 мм <sup>3</sup>	0.34 мм <sup>3</sup>			
3	2	0.40 мм <sup>3</sup>	0.17 мм <sup>3</sup>	0.03 мм <sup>3</sup>		
3	3	1.24 мм <sup>3</sup>	0.34 мм <sup>3</sup>	0.41 мм <sup>3</sup>		
4	1	1.21 мм <sup>3</sup>	0.06 мм <sup>3</sup>	0.02 мм <sup>3</sup>		
4	2	1.04 мм <sup>3</sup>	0.21 мм <sup>3</sup>	0.08 мм <sup>3</sup>	0.07 мм <sup>3</sup>	
4	3	1.17 мм <sup>3</sup>	0.44 мм <sup>3</sup>			

Кроме того, установлено, что нагнетательные скважин, отнесенные по результатам трассерных исследований ко второй группе, работают на режиме авто-ГРП, что провоцирует раскрытие и работу отдельных трещин (в т.ч. вертикальных), таблица 2.



**Таблица 2. Фактические давления закачки и рассчитанные давления раскрытия трещин) авто-ГРП)**

Параметр	Ед. изм.	2Н	3Н	9Н	7Н	6Н	5Н	8Н	1Н
Давление смыкания*	МПа	20,56	18,76	17,32	20,38	22,04	19,34	21,47	17,75
Давление на забое (расчет)	МПа	18,14	16,76	17,47	22,55	23,33	21,28	23,87	18,94

- текущее давление ниже давления авто-ГРП

- текущее давление на границе давления авто-ГРП

- текущее давление превышает давление авто-ГРП

Далее, сравнение исследованных участков показало, что более высоким значением отношения текущего пластового давления к начальному и оптимальной компенсацией отбора закачкой обладают участки, закачка воды на которых осуществляется пятью и более нагнетательными скважинами, что формирует/подтверждает предположение о влиянии плотности нагнетательного фонда на эффективность поддержания пластового давления (таблица 3, рисунок 7).

**Таблица 3. Сводные данные опытных участков по эффективности системы ППД**

Площадь/ месторождение	Участок нагнетательной скважины	<u>Рпл тек. / Рпл нач.</u> Компенсация	Место в рейтинге «эффективности»	Количество нагнетательных скважин на участке
А	2Н	$\frac{1,03}{0,97}$	1	4 (6)*
В	9Н	$\frac{0,67}{0,71}$	2	5
А	1Н	$\frac{0,7}{0,9}$	3	6 (7)*
Б	7Н	$\frac{0,51}{1,58}$	4	3 (4)*
А	3Н	$\frac{0,37}{2,41}$	5	4 (7)*
Б	8Н	$\frac{0,32}{4,38}$	6	1 (2)*
Б	6Н	$\frac{0,37}{5,54}$	7	1 (2)*
Б	5Н	$\frac{0,41}{8,57}$	8	2

\*ограниченное присутствие соседней нагнетательной скважины на участке

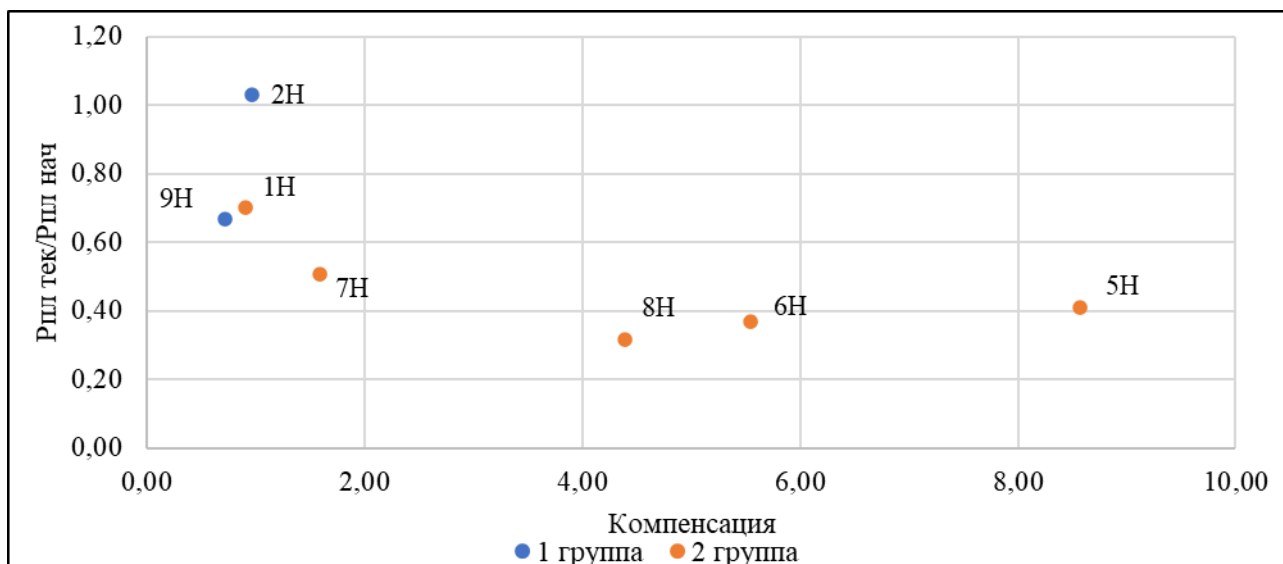


Рисунок 7. Распределение групп изучаемых скважин (участков) относительно давления и компенсации закачки

Кроме того, результаты трассерных исследований показали, что даже на участках с относительно большим количеством нагнетательных скважин присутствуют отдельные нагнетательные скважины с низкой эффективностью. Это, в свою очередь, свидетельствует о необходимости одновременного исследования всех нагнетательных скважин очага заводнения, т.к. высокая плотность нагнетательных скважин сама по себе не может являться гарантией эффективной работы каждого его элемента. На основании полученных результатов, отдельные изученные нагнетательные скважины были признаны недостаточными для поддержания энергетики пласта. Увеличение объемов закачиваемой воды не приводит к повышению давления, а только провоцирует раскрытие трещин и уход закачиваемой воды (предположительно) под залежь. Объемы ежесуточной закачки воды, превышающие объемы закачки при оптимальном давлении, были признаны непроизводительными. На скважинах с выявленной непроизводительной закачкой были выполнены мероприятия по снижению давления и, соответственно, снижению ежесуточных объемов закачки в среднем с  $70,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$  до  $39,3 \text{ м}^3/\text{сут.}$  (на 44%), что дало экономию на объеме закачиваемой воды в  $11113 \text{ м}^3$  за три месяца.

Также в главе представлено описание подхода при проведении трассерных исследований кизеловского горизонта. Выводы предыдущих разделов показали, что результаты единичного исследования не позволяют сформировать действительные рекомендации для повышения эффективности системы ППД, при этом совокупные результаты работ на нескольких нагнетательных скважинах одного объекта разработки позволили выполнить ранжирование объектов по значению гидродинамической связи, выявить особенности, влияющие на силу связи, а также сформировать вывод о ключевом

факторе, который влияет на поддержание пластового давления. Полученные сводные результаты позволяют сформировать заключение о необходимости проведения трассерных исследований на карбонатных коллекторах только комплексно, одновременно изучая несколько нагнетательных скважин различных очагов заводнения с различными геолого-промысловыми параметрами. Это позволит количественно оценить влияние того или иного параметра на эффективность системы заводнения и при возможности довести показатели отстающих скважин до уровня наиболее эффективных или выявить геологические факторы, оказывающие ключевое влияние на эффективность системы заводнения. Кроме того, результаты трассерных исследований показали, какие зоны фильтрации являются рабочими для каждого участка (трещины, матрица).

**В пятой главе** представлено описание методики получения сложноэфирного производного борфторированного комплекса куркумина (соединения I  $R = C_2H_5$ ), включающий в себя конденсацию борфторированного ацетилаcetона и 4-[Бис[2-(ацетилокси)этил]амино]бензальдегида в смеси растворителей из толуола, трибутилбората и бутиламида и способ гидролиза соединения I ( $R = C_2H_5$ ) в среде ТГФ и метанола гидроксидом лития с получением тетра карбоксильного производного борфторированного комплекса куркумина (соединения I  $R = H$ ) (рисунок 8, 9). При этом главной отличительной особенностью данного синтеза производного куркумина является возможность контролируемого гидролиза соединения I с получением производных с различным количеством карбоксильных групп, которые определяют полярность соединения. Предварительно, перед этапом разработки, было выполнено моделирования рабочей области люминесценции и прогнозирования свойств вещества для возможности его использования в качестве трассера.

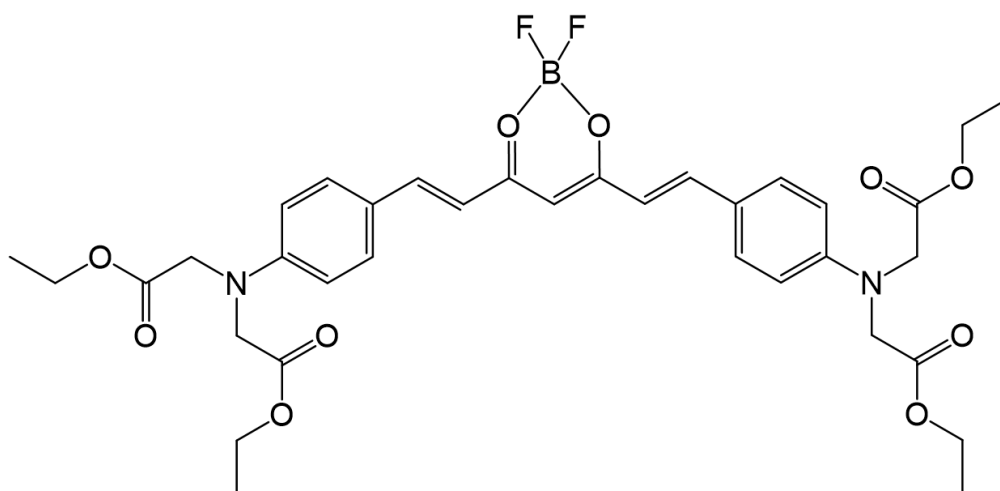


Рисунок 8 – структурная формула соединения I  $R = C_2H_5$ .

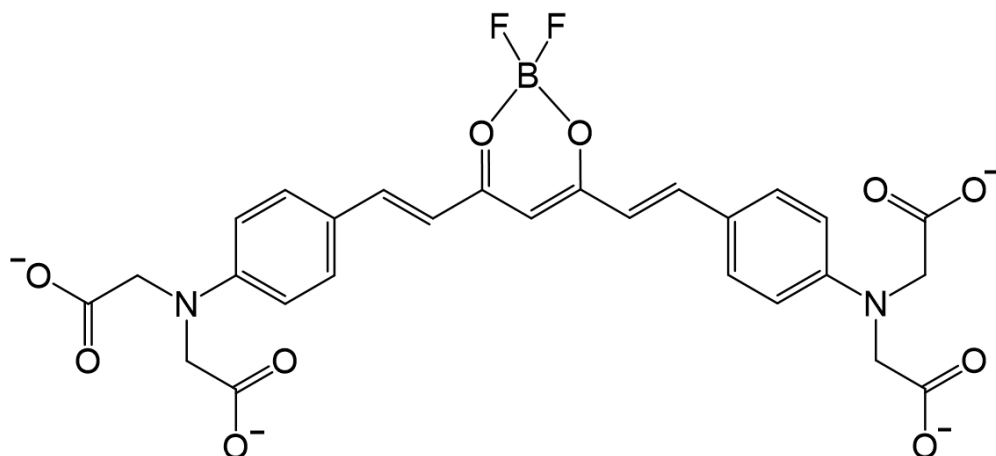


Рисунок 9 – структурная формула соединения I R = H.

На основании указанных соединений I R = C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> и I R = H синтезированы вещества с уникальными (отличительными) характеристиками регистрации в диапазоне 575-660 нм. и большим Стоксовым сдвигом (100-160 нм.), рисунок 10.

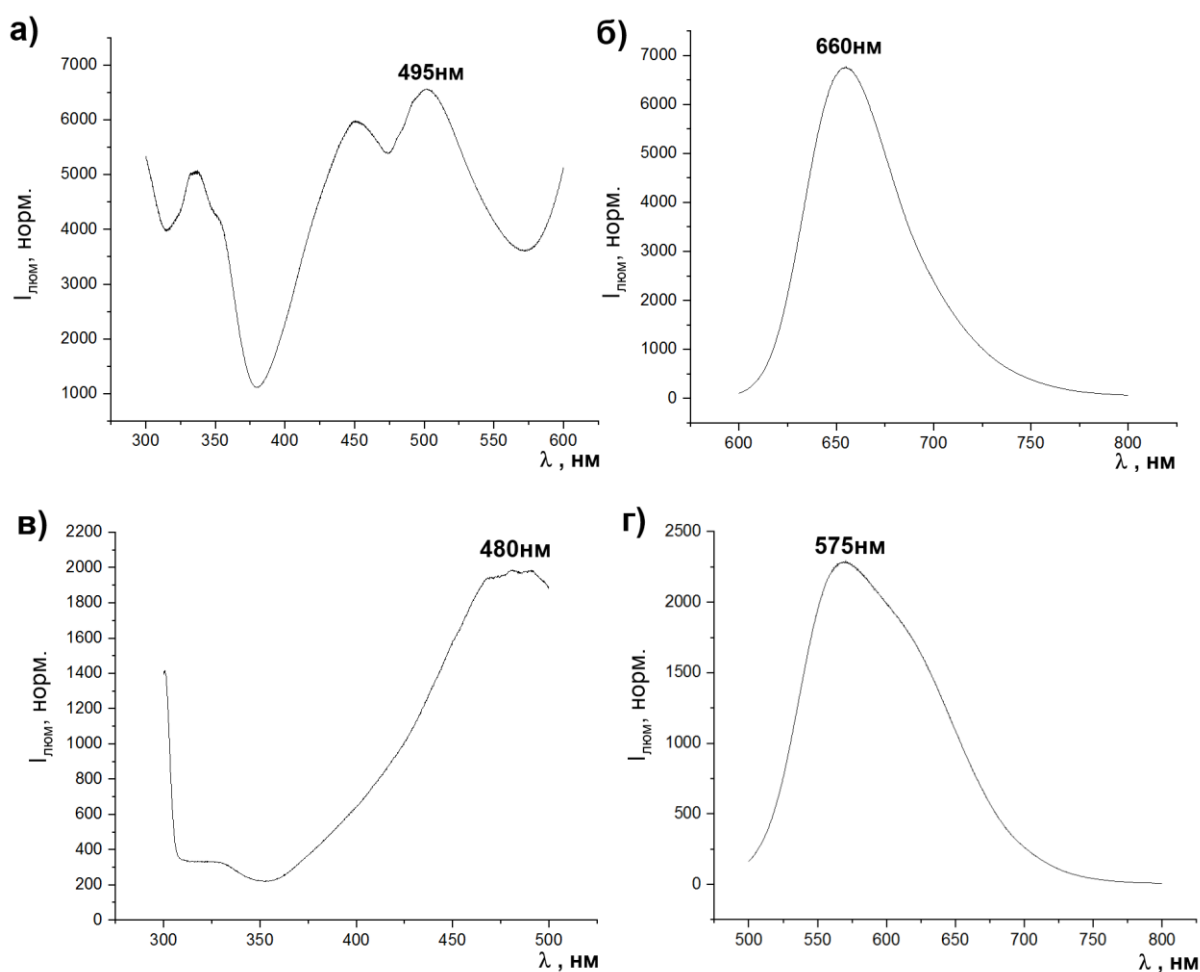


Рисунок 10 - спектры возбуждения (а, в) и эмиссии (б, г) для соединения I (R = C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) (а, б) и соединения I (R = H) (в, г)

Значение рабочего диапазона и величина Стоксова сдвига обеспечивает возможность их селективной детекции даже в смеси с другими люминесцентными трассерами с близкими спектрами люминесценции.

Далее в главе представлено описание разработанной методики одновременной количественной регистрации 16 трассеров, которая необходима при реализации предложенного в предыдущем разделе подхода по одновременному изучению одного или соседних очагов. Методика предлагает использование 8 люминесцентных и 8 спиртовых соединений в качестве трассеров, которые обладают возможностью уверенной количественной идентификации при одновременном присутствии в одном образце пластовой воды. Кроме того, способ, представленный в методике, позволяет улучшить чувствительность определения флуоресцентных трассеров с пересекающимися спектрами люминесценции относительно известного прямого метода определения, основанного на пропорциональности интенсивности сигнала люминесценции к концентрации, а также позволяет с достаточно низкой погрешностью определять полярные трассеры на основе спиртов при их одновременном присутствии. Перекрытие спектров люминесценции между остальными трассерами пренебрежимо мало за счёт большого различия в их длинах волн возбуждения, что позволяет не учитывать их пересечение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупные результаты выполненных исследований позволяют сформировать следующие выводы:

1. Область метода маркеров является широко используемой в нефтегазодобывающей отрасли и охватывает несколько направлений для решения различных задач. Чрезмерная обобщенность понятий затрудняет понимание применимости технологии и ее отдельных инструментов для решения задач недропользователя, что требует ввода соответствующей терминологии. Разработка и использование классификатора позволяет идентифицировать направление метода маркеров относительно поставленной геолого-промысловой задачи;

2. Метод межскважинных трассерных тестов, в области фактических полученных данных по выходу индикатора, позволяет выполнять изучение зон дополнительного бурения на кыновско-пашийском объекте разработки с целью оценки риска обводнения. Зафиксированная доля трассера в зафиксированном значении 0,5 % (+/- 10 %) от его закачанного объема по зонам низкого фильтрационного сопротивления является фактором риска обводнения планируемой к бурению скважины и служит рекомендацией к отмене или смещению точки бурения. При этом заключение формируется из области фактических

полученных данных, что повышает достоверность исследований и является достаточной для решения задачи работ;

3. Трассерные межскважинные исследования в карбонатных коллекторах (на примере кизеловского горизонта) обладают информативностью только при комплексном (системном) изучении нескольких нагнетательных скважин одного геологического объекта разработки. В этом случае результаты работ позволяют выполнить ранжирование участков нагнетательных скважин по критерию влияния, а также оценить влияние того или иного геолого-промыслового параметра на значение гидродинамической связи. Динамика выхода трассера в совокупности с данными давления раскрытия трещин позволяет подтвердить наличие непроизводительной закачки и сформировать корректирующие мероприятия по её снижению. Выполненный анализ показал наличие зависимости между давлением закачки и значением гидродинамической связи;

4. Представлены два сценария использования метода межскважинных трассерных тестов для повышения эффективности разработки от планирования до получения результата. При изучении зон дополнительного бурения выявлено, что 37 % от исследуемого количества проектных скважин находятся в зонах опережающего обводнения, что является риском получения высокообводненной продукции. При изучении участков кизеловского горизонта было выявлено наличие непроизводительной закачки с последующим её сокращением на 44 % (среднее по общему количеству исследованных участков – 27, 2%).

5. Предложенные в ходе выполнения диссертационной работы способы (трассерное вещество на основе куркумина и методы одновременного детектирования восьми флуоресцентных и восьми спиртовых трассеров при их одновременном присутствии в пластовых водах) выполнены на уровне изобретений и защищены патентами РФ.

6. При изучении зон дополнительного бурения, с целью получения максимальной информации, требуется комплексирование данных по опережающему обводнению с данными по выявленным фильтрационно-емкостным свойствам и данными по нефтенасыщенности. Наличие всесторонней информации позволит выполнить оптимальное размещение точек дополнительного бурения для достижения максимальной эффективности.

7. Используемые в качестве искусственных маркеров вещества обладают значительным разнообразием и особенностями, делающих их подходящими или не подходящими для решения той или иной задачи. Выполнение различных технологии маркеров требует использование своего типа вещества, отвечающий особенностям метода.

С целью повышения понимания метода требуется разработка библиотеки трассерных составов с указанием их особенностей и области использования (кластера).

**Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:**

**а) статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК:**

1. Кубарев, П.Н. Уточнение геологического строения объектов разработки с использованием индикаторных растворов / П.Н. Кубарев, А.Г. Камышников, М.А. Абрамов // Инженерная практика. – 2016. – № 7. – С. 56-65.

2. Применение индикаторного метода для изучения фильтрационных процессов после реализации комплексной технологии повышения нефтеотдачи / П.Н. Кубарев, М.Р. Хисаметдинов, А.Г. Камышников, Т.А. Сапугольцева, Т.Ю. Елизарова, Б.Г. Ганиев // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 7. – С. 33-35.

3. Планирование, проведение и использование результатов индикаторных исследований для контроля разработки нефтяного месторождения / Б.Г. Ганиев, П.Н. Кубарев, А.Г. Камышников, К.В. Шишкин // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 44-47.

4. Использование углеродных квантовых точек в качестве трассирующего материала при мониторинге и контроле разработки нефтяных месторождений / А.Г. Камышников, А.Т. Зарипов, Ант.Н. Береговой, Р.Р. Ибатуллин, Р.Р. Заиров, А.П. Довженко // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 44-48.

5. Методы маркерной диагностики для контроля разработки месторождения. Классификация, структурирование и терминология / А.Г. Камышников, А.А. Лутфуллин, А.Т. Зарипов, Ант.Н. Береговой, В.Ю. Воробьев // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 7. – С. 18-23.

6. Метод межскважинных трассерных тестов для диагностики опережающего обводнения и минимизации рисков при уплотняющем бурении / А.Г. Камышников, Ант.Н. Береговой, А.Т. Зарипов, И.Р. Мухлиев, А.Р. Ханнанов // Нефтяное хозяйство. – 2025. – № 7. – С. 36-39.

7. Уточнение геологического строения и прогноз трещиноватости башкирских отложений Вишнево-Полянского месторождения / М.Н. Мингазов, А.А. Стриженок, М.М. Аношина, А.Г. Камышников, В.А. Кормухин // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ОАО «Татнефть». – М. : Нефтяное хозяйство, 2014. – Вып. 82. – С. 52-58.

8. Региональные аспекты новейшей тектоники Республики Татарстан / М.Н. Мингазов, А.А. Стриженок, А.Г. Камышников, А.Г. Киямова // Георесурсы. – 2014. – № 2. – С. 44-50.

9. Опыт применения индикаторных исследований по изучению гидродинамической связи между сакмарскими и верхнепермскими отложениями Ашальчинского месторождения сверхвязких нефтей / М.Н. Мингазов, А.А. Стриженок, Р.Р. Фатхуллин, А.Г. Камышников, Р.И. Шакиров // Георесурсы. – 2015. – № 1. – С. 29-32.

**б) патенты:**

10. Патент N 2821510 Российская Федерация, МПК C09K 11/06 (2006.01), C07F 5/02 (2006.01), C07C 49/235 (2006.01), A61K 49/00 (2006.01). Способ получения водорастворимого флуоресцентного маркер на основе комплекса куркумина с дифторидом бора : N 2023128708 : заявлено 07.11.2023 : опубликовано 25.06.2024 / Фархутдинов И.З., Камышников А.Г., Береговой А.Н., Заиров Р.Р., Довженко А.П. ; патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина.

11. Патент N 2798683 Российская Федерация, МПК G01N 21/64 (2006.01), G01N 30/02 (2006.01). Способ детектирования флуоресцентных и спиртовых трассеров при их совместном присутствии в пластовых водах при проведении трассерных межскважинных исследований : N 2023105600 : заявлено 10.03.2023 : опубликовано 23.06.2023 / Фархутдинов И.З., Камышников А.Г., Береговой А.Н., Заиров Р.Р., Довженко А.П. ; патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина.

12. Патент N 2842076 Российская Федерация, МПК E21B 43/22 (2006.01), C09K 8/58 (2006.01). Способ определения нефтенасыщенности наиболее проводимых зон фильтрации при помощи химического трассирования : N 2024138755 : заявлено 20.12.2024 : опубликовано 19.06.2025 / Камышников А.Г., Абдулхаков Р.Р., Береговой А.Н., Зарипов А.Т., Лутфуллин А.А. ; патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина.

**в) публикации в других научно-технических изданиях:**

13. Результаты трассерных исследований на Байтуганском нефтяном месторождении / П.Н. Кубарев, А.Г. Камышников, Г.П. Антонов, М.А. Абрамов // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ОАО «Татнефть». – Казань : Центр инновационных технологий, 2013. – Вып. 81. – С. 108-118.

14. Власова, Ю.В. Аналитическое обобщение результатов применения технологий увеличения нефтеизвлечения при разработке текущих запасов Альметьевской площади Ромашкинского месторождения / Ю.В. Власова, А.Г. Камышников, Ант.Н. Береговой // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО «Татнефть». – 2023. – Вып. 91. – Набережные Челны, С. 106-116.

15. Изучение неоднородности верхнепермских отложений Ашальчинского месторождения сверхвязкой нефти / М.Н. Мингазов, А.А. Стриженок, А.Г. Камышников,



Р.Р. Фатхуллин, Р.И. Шакиров // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО «Татнефть». – М. : Нефтяное хозяйство, 2015. – Вып. 83. – С. 307-312.

16. Кубарев, П.Н. Оптимизация проведения индикаторных исследований путем внедрения программных средств / П.Н. Кубарев, А.Г. Камышников, С.В. Кондаков // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО «Татнефть». – М. : Нефтяное хозяйство, 2016. – Вып. 84. – С. 76-81.

**г) свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2022611901 Российская федерация. Методика оценки погрешности операций при интерпретации результатов трассерных тестов : N 2021682106 : заявлено 27.12.2021 : опубликовано 04.02.2022 / Камышников А.Г., Абдулхаков Р.Р., Даньшина Ю.В., Береговой А.Н., Воробьев В.Ю. ; правообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2022611978 Российская федерация. Методика создания дизайна исследований для проведения межскважинных трассерных тестов : N 2021681196 : заявлено 21.12.2021 : опубликовано 04.02.2022 / Камышников А.Г., Воробьев В.Ю., Даньшина Ю.В., Абдулхаков Р.Р., Береговой А.Н. ; правообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2015614088 Российская федерация. Методика количественной интерпретации результатов индикаторных исследований : N 2015610740 : заявлено 27.12.2021 : опубликовано 04.02.2022 / Кубарев П.Н., Абрамов М.А., Зубарев В.В., Кондаков С.В., Антонов Г.П., Саттаров Р.З., Камышников А.Г. ; правообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.