

ОТЗЫВ
официального оппонента Волошина Александра Иосифовича
на диссертационную работу **Юнусова Тимура Ильдаровича**
«Коллоидно-химические свойства хелатных композиций в процессах
интенсификации добычи в нефтяных пластах», представленную на соискание
ученой степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.10. Коллоидная химия

Актуальность темы исследования

В течение последних лет в нефтяной промышленности нашей страны наблюдается устойчивая тенденция к изменению структуры запасов нефти, что проявляется в увеличении доли трудноизвлекаемых запасов с осложненными геолого-физическими условиями. В разработку вовлекаются месторождения с карбонатными коллекторами, имеющие низкую проницаемость, повышенную пластовую температуру с ярко выраженной трещиноватостью и неоднородностью. Разработка таких коллекторов представляется весьма нетривиальной задачей. Кроме того, остается значительная доля зрелых месторождений с высокими остаточными запасами, продукция скважин которых имеют высокую обводненность. Добыча нефти на таких месторождениях часто находится на грани рентабельности. Для обеспечения эффективной добычи нефти часто прибегают к технологиям воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП), основная задача которых интенсифицировать приток нефти к скважине. Традиционным методом является применение кислотных составов (КС) на основе соляной кислоты, облагороженной различными добавками. Однако для высокотемпературных и кавернозно-трещиноватых пластов кислотные составы модифицируют, при этом такая модификация направлена на улучшение селективности и регулирование их реакционной способности с целью увеличения глубины и охвата обработки ПЗП. При проектировании технологии воздействия на пласт при использовании кислотных составов приходится обеспечивать нормативную коррозионную агрессивность КС и их совместимость с нефтью.

В последнее время в качестве альтернативы КС предлагаются составы на основе хелатных соединений, в частности, натриевых солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Широкому применению таких составов для стимуляции скважин препятствует относительно низкая растворяющая способность хелатных реагентов по отношению к карбонатной породе и недостаточная изученность механизма взаимодействия композиций в гетерогенных процессах на границе раздела фаз нефть – порода, вода – порода. Таким образом, выявление закономерностей влияния составов на основе хелатных соединений на смачиваемость породы, изменение межфазного натяжения, образование стабильных эмульсий и, в конечном итоге, на их реакционную способность требует глубокого осмысления на основе новых экспериментальных данных. В этой связи диссертационная работа Юнусова Т.И., направленная на выявление таких закономерностей, являются актуальной.

Структура работы и основные результаты

Диссертация Юнусова Тимура Ильдаровича изложена на 181 странице и включает введение, 4 главы, в том числе литературный обзор, методическую главу, а также две главы, посвященные обсуждению результатов, заключение и список литературы.

Первая глава диссертационной работы (литературный обзор) посвящена вопросам интенсификации добычи в карбонатных коллекторах с применением хелатных реагентов. Автор глубоко и логично рассматривает различные аспекты подобных операций. Подробно обсуждается химизм реакции растворения карбонатных минералов в присутствии хелатных реагентов, рассмотрен механизм с учетом поверхностного комплексобразования. Понимание механизма важно для правильного планирования экспериментов, оценки полученных результатов. Кратко и логично представлены основные сведения об интенсификации добычи нефти в карбонатных коллекторах, о физико-химических процессах, протекающих в пласте и приводящих к образованию червоточин. Подробно описаны свойства хелатных реагентов, их отличительные черты и достоинства. В главе проанализирован накопленный опыт исследования и применения хелатных реагентов различных типов как в лабораторных экспериментах, так и в промысловых испытаниях. Показана эффективность их применения в зависимости от типа реагентов и условий. Отдельный раздел посвящен рассмотрению коллоидно-химических свойств хелатных реагентов – их поведению на границе раздела фаз с углеводородной фазой и породой. Подчеркивается, что успешность операции по стимулированию добычи нефти при обработке ПЗП скважин часто определяется межфазными свойствами используемых композиций. Тем не менее, согласно представленным источникам, во-первых, большая часть исследований посвящена вопросам увеличения нефтеотдачи, что приносит специфику, отличную от задачи интенсификации, а во-вторых, на данный момент исследования часто опираются на конкретные условия определенных месторождений, что затрудняет анализ и обобщение результатов. Подобные обстоятельства указывают на необходимость проведения более глубоких и систематизированных исследований в данной области. В целом, первая глава представляет собой ценный вклад в понимание современных тенденций и достижений в области модификации коллоидно-химических свойств хелатных реагентов для увеличения эффективности интенсификации добычи. Она может служить основой для дальнейших исследований и разработок в этой области.

Во **второй главе** подробно описываются объекты и методы исследования. Основным реагентом, используемым автором, является ЭДТА и ПАВ различных классов – катионные, анионные, амфолитные. Автором используется весь спектр методик для изучения межфазных процессов при интенсификации добычи: электронная микроскопия, определение межфазного натяжения (МФН), прямое определение угла смачивания и определение кинетики пропитки. Особо необходимо подчеркнуть разработанный автором подход с использованием прозрачной модели для визуального наблюдения за процессами, происходящими при совместном течении нефти и кислоты, а также проведение фильтрационного эксперимента, позволяющего подтвердить эффективность принятых автором решений на образцах реальной породы.

В **третьей главе** рассматриваются процессы, происходящие при протекании реакции поверхностного комплексобразования между карбонатной породой и растворами ЭДТА, а также пути модификации данной реакции для достижения желаемых практических характеристик – пролонгированности реакции и увеличении растворяющей способности. В первой части данной главы исследовано ее протекание при различных температурах и различных рН, фактически – при применении солей ЭДТА различной замещенности катионом. Был выбран состав с пролонгированной реакцией растворения

при высокой температуре и, на основе введенного автором параметра «удельной растворяющей способности», обладающий наилучшими характеристиками растворения.

Вызывает интерес выполненные исследования по модификации данной реакции путем введения многоосновных органических кислот. Показано, что их введение при повышенной температуре приводит к растворяющей способности большей, чем сумма вкладов отдельных реагентов, наибольший рост наблюдался при введении лимонной кислоты. Дополнительные исследования рассматриваемых реакций с помощью метода молекулярной динамики позволили установить основные факторы, влияющие на растворяющую способность и скорость реакции в интервале температур от 80 до 120°C.

В третьей части проведено исследование возможности применения различных органических и неорганических солей для увеличения растворяющей способности. Эта часть работы представляется важной с практической стороны, поскольку применение композиций на основе комплексонов осуществляется в высокоминерализованных средах. Приведенные в данной главе сведения способствуют более глубокому пониманию химических и транспортных процессов, происходящих на границе раздела фаз между твердым минералом и раствором хелатного реагента.

В **четвертой главе** диссертационной работы основное внимание уделено исследованию межфазных свойств: межфазного натяжения, угла смачивания, образования эмульсий. Глава включает очень важный этап – физическое моделирования воздействия на карбонатный нефтенасыщенный пласт разработанных композиций. Установлено, что изменение межфазного натяжения водного раствора ПАВ при вводе хелатной композиции определяется его типом: снижение МФН наблюдается для анионных и катионных ПАВ ряда четвертичных алкиламмониевых соединений. Методом молекулярной динамики установлена вероятная природа данных изменений. Показано, что катионные и амфолитные ПАВ при повышенной температуре способствуют дополнительной гидрофиллизации гидрофильной породы и, соответственно, увеличению растворяющей способности. Применение анионных ПАВ к таким эффектам не приводит. На качественном уровне показано, что хелатный состав с добавлением ПАВ не образует шламы и эмульсии в нефтенасыщенной пористой среде, эффективно отмывает нефть с поверхности породы. Рассмотрена также фильтрация через нефтенасыщенную карбонатную породу водной фазы. Характер изменения перепада давления и увеличение проницаемости свидетельствует об образовании червоточины. Результаты, приведенные в рассматриваемой главе, способствуют более глубокому пониманию сложных коллоидно-химических процессов на межфазной границе в системах «ПАВ-содержащие растворы комплексонов - углеводороды - нефтенасыщенная порода».

Научная новизна исследований и полученных результатов. Впервые были проведены целенаправленные и систематические исследования коллоидно-химических свойств составов на основе комплексонов и ПАВ. Предложенный автором показатель удельной растворяющей способности удобен для оценки эффективности растворения породы. Использование этого показателя позволило обосновать оптимальность применения $\text{Na}_3\text{ЭДТА}$ как основы хелатной композиции. Результаты по влиянию многоосновных органических кислот на процесс растворения карбонатной породы показали синергетический эффект при высоких температурах. Убедительно интерпретировано изменение межфазного натяжения ПАВ-содержащих составов в зависимости от типа ПАВ и присутствия хелатных реагентов. Предложенное объяснение подтверждено расчетами с использованием методов молекулярной механики.

Обнаружены эффекты изменения смачиваемости в зависимости от типа используемого ПАВ.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке хелатной композиции, которую можно применять для обработки ПЗП скважин с целью интенсификации притока. Эффективность и свойства композиции можно регулировать введением компонентов, влияющих на межфазные характеристики раствор композиции – нефть, раствор композиции – порода пласта. Разработанная композиция может быть использована для обработки ПЗП, а разработанный подход – для направленного подбора и разработки композиций, эффективной в тех или иных условиях применения.

В диссертации представлены аргументированные **закключение** и выводы, основанные на исследованиях автора. Анализ полученных данных показал, что введение добавок различных классов позволяет значительно изменить поверхностные и технологические свойства хелатных реагентов. Разделы работы логически связаны, дополняют друг друга, формируя целостное исследование, которое вносит значимый вклад в решение актуальных научных и практических задач в области коллоидной химии. Диссертация написана хорошим литературным языком.

По работе имеются ряд замечаний и рекомендаций:

1. В качестве пожелания неплохо было бы дополнить работу определением перспективных направлений, в которых бы кратко формулировались задачи исследований взаимодействия хелатных композиций с карбонатными породами, такими как арагонит, анкерит, сидерит, магнезит и др.

2. Вся работа выполнена с использованием в качестве карбонатной породы мрамора. Безусловно, мрамор, является «стандартом» для исследования растворяющей способности тех или иных композиций, однако было бы лучше в качестве сравнения использовать реальные образцы карбонатной породы.

3. Отсутствует информация о приготовлении карбонатной породы, которая использовалась в фильтрационных экспериментах.

4. Встречаются не вполне корректные выражения, которые, видимо, следует определить как опечатки, например:

Стр. 20. ...реакция осаждения гидроксида металл.

Стр. 21. Возможность образования, скорость роста и форму червоточины отображает Дамкеллера, которое представляет собой скоростью реакции и конвекции [54].

Стр. 40. Комплексное поведение комплексона диэтилентриаминпентауксусной кислоты (ДТРА) при закачке в нефтенасыщенную микромодель исследовалось в работе [159] и т.д.

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку работы, не ставят под сомнение ключевые выводы диссертации и не снижают ее общий высокий уровень.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Научные положения и выводы диссертации обоснованы и достоверны, благодаря использованию стандартных методик, современных методов анализа, методов статистической обработки данных, большого объема экспериментальных данных и их сопоставимости с литературными источниками.

По материалам работы опубликовано: 1 статья в российском рецензируемом научном издании, рекомендованном ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 4 статьи в журналах, входящих в реферативные базы WoS и

Scopus, 1 статья в журнале, входящем в базу данных Russian Science Citation Index, 2 патента на изобретение, 10 публикаций в трудах конференций различного уровня.

Автореферат в полном объеме отражает основные положения и результаты, изложенные в диссертации.

Диссертационная работа Юнусова Тимура Ильдаровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение задачи, актуальной для коллоидной химии, которая заключается в установлении закономерностей влияния поверхностно-активных добавок на коллоидно-химические свойства хелатных композиций в процессах интенсификации добычи нефти и использовании полученных закономерностей для создания хелатной интенсифицирующей композиции.

Диссертационная работа Юнусова Тимура Ильдаровича полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в действующей редакции, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата химических наук, а ее автор, заслуживает присуждения степени кандидата химических наук по специальности 1.4.10. Коллоидная химия.

Официальный оппонент,
доктор химических наук (02.00.04 (1.4.4.) – Физическая химия),
эксперт отдела развития сейсмических проектов
управления развития корпоративного наукоемкого ПО,
Общество с ограниченной ответственностью «РН-Технологии»,
119607, Российская Федерация,
г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Раменки,
бульвар Раменский, д. 1
+7(495)930-80-13
voloshinai3@mail.ru

Волошин Александр Иосифович

Волошин

«12» января 2026 г.

*Подпись удостоверенного
индивидуального специалиста
Александров В.Л.*



Эксп. № 05-8786
«16» 01 2026 г.
Подпись *Крас*