

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
Тюменский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ТюмНЦ СО РАН)**

Российская Федерация,  
г. Тюмень, ул. Малыгина, 86  
625000 Тюмень, а/я 1230  
priemnaja@ikz.ru

Телефон: (3452) 68-87-85, 68-87-87  
Факс: (3452) 68-87-71  
E-mail: sciensec@ikz.ru,

---

ИНН 7202004498 КПП 720301001  
УФК по Тюменской области (ТюмНЦ СО РАН л/с 206761(35080) БИК 047102001  
Отделение Тюмень г. Тюмень р/счет 40501810500002000002

---

№ 15340 / \_\_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " 2018г.  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



**УТВЕРЖДАЮ**

**ВРИО директора ТюмНЦ СО РАН  
д.м.н., профессор РАН  
В.А. Мальчевский**

\_\_\_\_\_ 2018 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Антонова Сергея Михайловича «Взаимодействие вязких растворов  
HCl с карбонатной породой и их фильтрация в модели пласта»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия

Диссертация Антонова С.М. посвящена исследованию физико-химических характеристик растворов HCl с добавлением вязких реагентов различного химического состава применительно к условиям низкотемпературных карбонатных пластов Восточной Сибири.

#### **Актуальность для науки и практики**

Развитие нефтедобывающей отрасли России предполагает значительное наращивание объемов добычи углеводородов на карбонатных

месторождениях Восточной Сибири, отличающихся чрезвычайно сложным для освоения типом трещинно-каверно-поровых коллекторов.

Кислотная обработка призабойной зоны пласта растворами HCl является одним из основных химических способов повышения притока углеводородных флюидов из карбонатных коллекторов, обеспечивающих увеличение дебита скважины. Однако интенсивное кислотно-карбонатное взаимодействие и фильтрация кислоты в высокопроницаемые трещины не позволяет добиться успешности применения кислотной обработки выше 50%. Перспективным направлением может стать использование для кислотной обработки вязких растворов HCl. В этой связи представленная диссертационная работа, направленная на создание новых композиций растворов HCl с добавлением полимеров и растворов ПАВ и установления характеристик их взаимодействия с карбонатными минералами в моделях карбонатного пласта при термобарических пластовых условиях является актуальной научно-практической задачей.

### **Научная новизна результатов диссертационного исследования**

Новизна результатов диссертационного исследования определяется следующими основными результатами:

1. Экспериментально определены реологические характеристики растворов HCl (12 мас. %) с добавлением 0,5 мас. % биополимеров ксантана и склероглюкана, 6,5 мас. % раствора ПАВ карбоксибетаина, 0,8 мас. % синтетического полимера полиакриламида (ПАА) при термобарических условиях, приближенных к пластовым условиям карбонатных месторождений Восточной Сибири. Установлены значения межфазного натяжения на границах нефть – растворы HCl различной вязкости при  $P = 10$  МПа,  $t = 12$  °С,  $C_{\text{NaCl}} = 150$  г/л.

2. Определены коэффициенты массопередачи  $K_M$  и энергии активации реакций  $E_a$  вязких минерализованных растворов HCl (12 мас. %) с доломитом  $\text{Ca}_{1,16}\text{Mg}_{0,84}(\text{CO}_3)_2$  и кальцитом  $\text{CaCO}_3$  при температурах  $t = 10, 17, 25$  °С, давлении  $P = 0,101$  МПа и минерализации  $C_{\text{NaCl}} = 150$  г/л. Установлено, что

скорости реакций вязких растворов HCl с карбонатными минералами замедлены более чем в 7 раз относительно скоростей реакций карбонатов с х.ч. раствором HCl.

3. Определены размеры мицелл вязкого кислотного раствора HCl (12 мас. %) + Карбоксибетаин (6,5 мас. %) до и после взаимодействия с карбонатными минералами. Установлено, что в нейтрализованном растворе размеры мицелл значительно больше.

4. Впервые экспериментально установлены характеристики фильтрации растворов HCl (12 мас. %) с добавлением 0,5 мас. % биополимеров ксантана и склероглюкана, 6,5 мас. % раствора ПАВ карбоксибетаина, 0,8 мас. % синтетического полимера полиакриламида (ПАА) через модели карбонатного пласта при термобарических условиях коллекторов месторождений Восточной Сибири ( $P = 10$  МПа,  $t = 12$  °С).

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

В работе получены теоретические результаты, которые могут быть использованы в качестве справочных данных. Определены количественные показатели динамической вязкости кислотных растворов, коэффициенты массопередач и значения энергии активации реакций кислотных растворов с карбонатными минералами, размеры мицелл карбоксибетаина в рабочем и нейтрализованном растворах HCl.

К практически значимым результатам, несомненно, относится определение условий проведения кислотных обработок карбонатных пластов вязкими растворами HCl, приводящих к формированию каналов растворения со структурой червоточины. Оптимальные скорости подачи раствора HCl (12 мас. %) с добавлением 0,5 мас. % ксантана, 0,5 мас. % склероглюкана, 6,5 мас. % карбоксибетаина составили  $Q = 0,25$  см<sup>3</sup>/мин,  $Q = 0,1$  см<sup>3</sup>/мин,  $Q = 0,5$  см<sup>3</sup>/мин соответственно.

Даны рекомендации по применению в промышленных условиях разработанных вязких водных растворов HCl, а также рекомендации

планирования геолого-технических мероприятий по интенсификации притока нефти в добывающих скважинах, по выравниванию профиля приемистости реагента вытеснения в нагнетательных скважинах.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Теоретические результаты, полученные в работе, опубликованы в открытой печати, и могут быть использованы специалистами в области физической химии, а также как справочные данные. Результаты работы использованы в учебном процессе магистратуры ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет. Рекомендуются к использованию в преподавании дисциплины физико-химические методы воздействия на нефтяные пласты.

Полученные новые сведения о вязких растворах HCl, применяемых в кислотной обработке, и технологических приемах проведения работ. Данные представляют интерес для специалистов, занимающихся следующими вопросами: изучением физико-химических основ разработки новых кислотных композиций, изучением взаимодействий растворов кислот с минералами породы, исследованиями процессов фильтрации растворов в моделях пласта, применяемых в качестве добавок в кислотные растворы.

Данные по результатам лабораторных исследований растворов HCl (12 мас. %) с добавлением 0,5 мас. % ксантана, 0,5 мас. % склероглюкана, 6,5 мас. % карбоксибетаина позволяют рекомендовать их для обработки призабойной зоны карбонатных коллекторов трещинно-кавернозно-порового типа при высокой минерализации пластовых вод. Данный способ воздействия необходим для решения задачи качественного освоения трудноизвлекаемых запасов нефти месторождений Восточной Сибири.

Результаты работы представляют несомненный интерес для организаций специализирующихся в области нефтедобычи: ООО «Тюменский нефтяной научный центр», ООО «ТюменНИИгипрогаз», ООО «РН-УфаниПИнефть», «Шлюмберже Лоджелко, Инк.», ЗАО «НПФ

Бурсинтез-М», «Салым Петролеум Девелопмент», Тюменское отделение «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз».

### **Общие замечания**

1. Вызывает сомнение достоверность результатов определения размеров мицелл выше 6 мкм, рис. 3.19б диссертация и рис. 7б автореферат (попутно отметим, что на соответствующих рисунках не указаны единицы размеров частиц). Используемый автором метод динамического рассеяния света (ДРС) предполагает сферическую форму частиц, участвующих в броуновском движении. Однако верхний предел размера броуновских частиц ограничен радиусом 5-6 мкм. Заявленный производителем оборудования верхний предел размеров частиц 6,5 мкм для анализатора Zetatrac является скорее рекламным приемом в борьбе с конкурентами. Однако автору удалось "померить" еще больше – 7 мкм. Автор называет анализатор Zetatrac лазерным дифрактометром, однако лазерной дифракцией принято называть статическое рассеяние света. В основе метода статического рассеяния лежит изучение угловой зависимости интенсивности рассеянного света, возникающей в результате его дифракции на частицах разного размера.

2. Как отмечалось выше, в методе ДРС предполагается сферическая форма частиц, однако автор допускает, что измеряемые им мицеллы могут иметь, в том числе, цилиндрическую форму.

3. Для определения динамической вязкости следует использовать уравнение 1.21, а не 2.1, как это предлагается в диссертации. При этом для неньютоновских жидкостей рассчитанные таким образом значения вязкости имеют смысл эффективной вязкости или консистенции. Следовало бы указать, какие величины отложены по оси абсцисс и оси ординат на рис.3.2.

4. Дифференциальный термический анализ пишется как три отдельных слова, параграф 2.10. Измерение тепловых эффектов реакции называется калориметрией (от слова калория), рис.3.15. Колориметрия – измерение интенсивности цвета.

5. В уравнениях для скорости реакции взаимодействия кислотных растворов с образцами горной породы показатель степени числа 10 должен быть с обратным знаком, иначе не совпадают размерности левой и правой части уравнений. Кроме того, с ошибкой записана размерность скорости реакции. Должно быть  $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$ .

6. Для записи размерности времени автор использует сокращенное название то “с”, то “сек”. В системе СИ принятое сокращение для единицы времени - “с”

7. В Таблице 5 автореферата с ошибкой указана размерность коэффициента массопередачи. Должно быть  $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$ .

8. Важным итогом работы являются рекомендации по практическому применению в промышленных условиях разработанных вязких растворов HCl (в диссертации они некорректно названы физико-химическими основами кислотной обработки). Но этот результат отсутствует в выводах, которые сформулированы в автореферате.

### **Заключение**

Диссертационная работа Антонова Сергея Михайловича является научно-квалификационной работой направленной на решение актуальных проблем физической химии связанных с изучением физико-химических характеристик кислотных растворов состоящих из раствора HCl (12 мас. %) и ксантана, склероглюкана, карбоксибетаина. Изучение кинетики взаимодействия карбонатных минералов с вязкими кислотными растворами HCl и их фильтрации в карбонатных породах с созданием каналов фильтрации с пространственной структурой червоточкины. Результаты диссертационной работы имеют существенную значимость для решения практических задач. Разработана основа для создания дополнения к технологическому регламенту кислотных обработок карбонатных пластов. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно и точно отражены в имеющихся публикация. При участии автора опубликовано 4


статьи, три из которых из входит в базу данных РИНЦ и одна -Web of Science. Автореферат в целом отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование и удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г №842 с изменениями от 21 апреля 2016 г. № 335, а ее автор Антонов Сергей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04-физическая химия.

Диссертационная работа обсуждена на заседании научного семинара отдела физико-химии процессов криогенеза Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН 19 февраля 2018 г., протокол № 1.

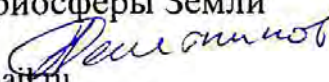
Отзыв на диссертацию составили:

главный научный сотрудник отдела физико-химии процессов криогенеза Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, д.х.н. (02.00.04-физическая химия)  
Тел.: +7(3452)688722; e-mail: nesterov@ikz.ru



А.Н. Нестеров

старший научный сотрудник отдела физико-химии процессов криогенеза Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, с.н.с., к.т.н.  
Тел.: +7(3452)688722; e-mail: ram-ikz@mail.ru



А.М. Решетников

Официальное наименование:

Обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук

Юридический и почтовый адрес: г. Тюмень, ул. Малыгина, 86  
625000, Тюмень, а/я 1230

www.ikz.ru Тел. (3452) 68-87-85, 68-87-87; E-mail: sciensec@ikz.ru,  
priemnaja@ikz.ru

Личные подписи Нестерова А.Н. и Решетникова А.М. заверяю:  
Ученый секретарь ТюмНЦ СО РАН, к.г.-м.н. Устинова Елена Валерьевна

21.02.2018 г.

