

«Утверждаю»

Проректор по науке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

геле-  
/нивер-

## ОТЗЫВ

Ведущей организации — Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского Томского политехнического университета»  
на диссертационную работу Трухина Ивана Сергеевича  
на тему «Прогнозирование осадкообразования в узлах нефтепромыслового оборудования морских нефтедобывающих платформ (на примере проекта «Сахалин-2»)», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 — Физическая химия

Известно, что отложение солей в оборудовании добычи и очистки нефти является одной из основных проблем современной нефтепромысловой химии. Ежегодно нефтедобывающие предприятия вынуждены тратить огромные ресурсы на прогнозирование и предотвращение отложения солей, а также своевременную замену вышедших из строя узлов оборудования. Существует множество исследований, посвященных проблеме солеотложения в нефтепромысловом оборудовании как в России, так и за рубежом. Тем не менее, современные способы контроля и прогнозирования солеотложения не позволяют учесть широкий спектр сложных физико-химических процессов, протекающих в нефтепромысловом оборудовании. Разработка и совершенствование данных методов необходимы для современной нефтепромысловой химии. Таким образом актуальность данной работы не вызывает сомнения.

Целью данной работы является усовершенствование методологических принципов оценки и прогнозирования физико-химических процессов солеосаждения в системах добычи и подготовки нефти на основе комплексного изучения состава попутно добываемых вод и отложений из узлов нефтепромыслового оборудования на примере морских нефтедобывающих платформ проекта «Сахалин-2». Поставленные для достижения указанной цели задачи автор решает последовательно и обосновано.

**Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.** Результаты данной работы были использованы для разработки и корректировки ряда мероприятий по защите нефтепромыслового оборудования

платформ Пильтун-Астохского месторождения от отложений солей. Кроме того, в виду широкой направленности данной работы и универсальности предлагаемых подходов, они могут быть рекомендованы как основа для проведения аналогичных исследований на других месторождениях.

**Научная новизна** работы состоит в том, что в работе впервые проведено комплексное исследование физико-химических параметров пластовых, морских, технологических вод и химического состава отложений в узлах нефтепромыслового оборудования морских нефтедобывающих платформ шельфового проекта «Сахалин-2», дана оценка надежности прогноза процессов солеотложения в нефтепромысловых системах по результатам их математического моделирования. Автором впервые экспериментально доказана возможность образования смешанного карбоната кальция и магния (магнезиального кальцита) в нефтепромысловом оборудовании морских нефтедобывающих платформ. Разработан новый методический подход для обнаружения поступления и расчета количества закачиваемых вод в продукции добывающих скважин.

**Публикации** отражают основное содержание работы и выполнены в авторитетных научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Результаты работы доложены на международных и российских конференциях.

**Общая характеристика работы.** Диссертация изложена на 176 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения, включает 45 рисунков, 16 таблиц и 227 литературных ссылок.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, поставлены цели и задачи работы.

Литературный обзор, приводимый в **первой главе**, посвящен описанию пластовых вод и отложений солей из нефтяных месторождений. Автор подробно рассматривает особенности их состава, а также методы его исследования. Значительную часть литобзора составляет разбор существующих в настоящее время методов прогнозирования и борьбы с солеотложением в нефтепромысловом оборудовании. Представленный литературный обзор является исчерпывающим и позволяет обосновать цель и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена материалам и методам, используемым в работе. Приведены места установки исследуемых платформ, схемы очистки нефти на платформах. Описаны используемые методы определения физико-химических параметров воды и осадков из нефтепромысловых систем, а также методы прогнозирования солеотложения и расчета возможности поступления закачиваемых вод в продукцию добывающих скважин. Результаты, представленные в работе, получены с помощью надежных методов, что подтверждает их достоверность.

В **третьей главе** обсуждаются полученные результаты. **Раздел 3.1.** посвящен исследованию попутно добываемых и закачиваемых вод Пильтун-Астохского нефтегазового месторождения. Показано, что метод ионообменной ВЭЖХ является предпочтительным для исследования высокосоленых вод нефтяных месторождений. Установлено, что пластовые воды данного

месторождения близки по значению общей минерализации к морской воде, при этом состав вод может значительно отличаться даже в скважинах на одной платформе, что подтверждается отнесением вод к разным типам по классификации Сулина. Результаты исследования физико-химических параметров воды были использованы для экспериментального и численного моделирования процессов солеотложения в рассматриваемых нефтепромысловых системах.

На основе данных о составе воды был предложен способ обнаружения поступления и расчет количества закачиваемой воды в продукцию добывающих скважин. С помощью метода иерархического кластерного анализа были выявлены образцы попутно добываемой воды, имеющие близкое статистическое расположение к закачиваемой воде, что свидетельствует о наличии прорыва на данных участках. На основании статистических дистанций между образцами стало возможным рассчитать соотношение пластовых и закачиваемых вод в смесях. Кластерный анализ методом  $k$ -средних позволил выделить скважины, в которых началось поступление воды, а также подтвердить ее происхождение. Метод кластерного анализа позволил провести расчеты на основе широкого набора физико-химических параметров, использование которых индивидуально не позволяет получить достоверные результаты.

В разделе 3.2 приведены результаты моделирования процесса солеосаждения в технологических узлах платформ. Классические методы расчета (Ланжелье и Скиллмена — Мак-Доналда — Стиффа) позволяют оценить тенденцию к отложению конкретных групп осадков. В дальнейшем автор использует программный комплекс Phreeqc Interactive. Согласно расчетам, в нефтепромысловом оборудовании исследуемых платформ ожидается осаждение карбонатов (преимущественно в форме кальцита), сульфата бария и алюмосиликатов. Наибольшие значения индексы насыщения солями достигают в оборудовании очистки нефти, где удаляется вода и газ, что приводит к резкому изменению физико-химических параметров системы. При этом было показано, что оборудование платформы ПА-Б менее подвержено процессам осадкообразования. Следующей частью работы стало прогнозирование осадкообразования в процессе смешивания вод для заводнения пласта. Показано, что в рассматриваемых нефтепромысловых системах маловероятно выпадение сульфатов кальция и стронция, при этом неизбежно выпадение барита и мусковита. Вероятность выпадения других осадков возрастает в зависимости от условий смешивания. Оптимальными являются, количество морской воды в смеси более 90% и температура менее 20 °С.

Математическое моделирование позволило установить, что даже в пределах одного месторождения возможно образование разных по составу осадков, что требует индивидуального подхода для борьбы с отложением солей.

В разделе 3.3 посвящена сравнению расчетных и экспериментальных данных по составу солеотложений. Методами рентгеноспектрального анализа проведено исследование отложений из нефтепромысловых систем платформ ПА-А и ПА-Б. Основными компонентами неорганической части изученных отложений были карбонат кальция, сульфат бария, алюмосиликаты

натрия и калия, а также продукты коррозии оборудования. Показано, что расчеты не позволяют предсказать выпадение хлоридов калия и натрия, которые были найдены в некоторых образцах отложений. В составе карбонатных осадков был обнаружен магний, который в практике нефтяного промысла обычно не учитывается как осадкообразующий элемент. Проведение модельных экспериментов с попутно добываемыми водами позволило подтвердить возможность осаждения смешанного карбоната кальция и магния, что также не противоречит результатам численного моделирования.

Предложенный методический подход — использование экспериментальных и расчетных данных о составе вод и солеотложений позволяет получать полноценную информацию о процессах, протекающих при добыче и транспортировке нефти на морских нефтедобывающих платформах.

Таким образом, сформулированные в диссертации положения и выводы базируются на объемном экспериментальном материале и вносят вклад в развитие современной физической химии.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования на нефтяных месторождениях при разработке мероприятий, направленных на предотвращение процессов осадкообразования в нефтепромысловом оборудовании морских нефтедобывающих платформ.

По работе имеются следующие замечания:

1. Содержание работы позволяет судить об объеме проведенного исследования. Однако заключение написано недостаточно полно, отсутствуют количественные характеристики для большинства защищаемых положений.
2. Не достаточно математически строго (раздел 1.4) описаны математические модели, количественно описывающие зависимость величины насыщения раствора от физико-химических параметров. В частности, не ясны ограничения применяемых моделей в случае высоких значений ионной силы раствора. В разделе 1.4 приведены уравнения для расчета коэффициентов активности только в диапазоне до 1.0 моль/дм<sup>3</sup>, однако расчеты в разделе 3 проводятся для растворов со значительно большими значениями ионной силы.
3. Валидация является важным аспектом любого моделирования. К сожалению, в работе не представлены численные характеристики для оценки результатов полученных методом k-средних, а также отсутствует метод сравнения для кластеризации k-средних.
4. Имеются погрешности в оформлении диссертации.
  - Таблицах 1 и 2 имеет название: «Физико-химические параметры пластовых вод нефтяных месторождений», однако в таблице приведены данные только по химическому составу исследованных объектов.
  - В работе используются устаревшие термины или не общепринятые обозначения, которые в настоящее время не рекомендованы для использования ИЮПАК: стр. 22 «... миллиграмм-эквивалентов ионов»; стр. 23 «... отношения чисел эквивален-

тов отдельных ионов»; для обозначения химического равновесия используется « $\leftrightarrow$ » вместо рекомендованного « $\rightleftharpoons$ »;

- Не всегда соблюдается единство обозначений. Так ионная сила раствора в формуле (6) обозначается  $I$  (рекомендовано ИЮПАК), а в формулах (9), (13) —  $\mu$ .

Высказанные замечания носят дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа Трухина Ивана Сергеевича по актуальности выбранного направления, новизне и достоверности полученных результатов отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Трухин Иван Сергеевич достоин присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 — физическая химия (химические науки).

Работа и содержание настоящего отзыва обсуждены на научном семинаре исследовательской школы химических и биомедицинских технологий Томского политехнического университета 09 декабря 2020 г. (Протокол № 25).

Профессор ИШХБМТ ТПУ,  
доктор химических наук  
(специальность 02.00.02 — аналитическая химия)

Романенко Сергей Владимирович

Доцент ИШПР ТПУ,  
отделения нефтегазового дела,  
кандидат химических наук  
(специальность 02.00.02 — аналитическая химия)

Зарубин Алексей Геннадьевич

Подпись С.В. Романенко и А.Г. Зарубина

Ученый секретарь Томского  
политехнического университета

. Ананьева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

Телефон: +7 (3822) 60-63-33.

E-mail: [tpu@tpu.ru](mailto:tpu@tpu.ru), [svr@tpu.ru](mailto:svr@tpu.ru), [zarubinag@tpu.ru](mailto:zarubinag@tpu.ru)