

На правах рукописи

Торопчина Мария Андреевна



**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА САПОНИТОВОГО
ШЛАМА С ПОЛУЧЕНИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ
ПРОДУКТОВ**

Специальность 2.6.7. Технология неорганических веществ

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2026

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

кандидат технических наук

Зубкова Ольга Сергеевна

Официальные оппоненты:

Почиталкина Ирина Александровна

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических процессов, профессор;

Фролова Мария Аркадьевна

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», кафедра строительных материалов, инженерных конструкций и архитектуры, заведующий кафедрой.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **14 сентября 2026 г. в 10:00** на заседании диссертационного совета ГУ.4 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 14 июля 2026 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ГЕРАСИМОВ
Андрей Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Высокая седиментационная устойчивость сапонитового шлама, образующегося при обогащении кимберлитовой руды на Ломоносовском ГОКе, значительно усложняет оборотное водоснабжение. Поскольку на 1 кг добытых алмазов приходится около 6,17 тыс. тонн шлама, площадь хвостохранилища ежегодно увеличивается; по состоянию на конец 2020 года в хвостохранилище было уложено 32,83 млн т шлама. Дальнейшее расширение может потребовать вырубки леса на территории государственного природного заказника регионального значения.

На сегодняшний день предложен ряд методов и технологий для утилизации данного шлама и установления замкнутого водооборота на предприятии, среди которых наиболее эффективно сгущение с помощью коагулянтов или флокулянтов. Сгущенный сапонитовый кек предложено использовать в качестве удобрения, пуццолановых добавок в бетоны, сырья для изготовления строительной керамики, получения сорбентов и буровых растворов на водной основе. Существующие разработки по применению сгущенного кека до сих пор не перешли в стадию промышленного внедрения ввиду неоднородности его состава и содержания в нем значительной доли реагентов-осадителей, снижающих качество продуктов, получаемых из этого сырья. Поэтому сгущение сапонитового шлама и применение сгущенного осадка остается недостаточно изученным и требует проведения дальнейших исследований.

Особый интерес представляет направление исследований, связанное с буровыми растворами, поскольку бурение нефтяных и газовых скважин занимает значительную долю на рынке услуг нефтегазового сервиса. Основным компонентом буровых растворов на водной основе традиционно служит бентонитовый глинопорошок, а для растворов на углеводородной основе используется органомодифицированный бентонит. Важно отметить, что бентонитовые глины состоят преимущественно из минералов монтмориллонитовой группы. Минерал сапонит также относится к группе монтмориллонита. Производство глинопорошка для буровых растворов связано с необходимостью разработки месторождений бентонитовых глин, которая влечет за собой изменение ландшафта и экосистемы регионов добычи, а

также дополнительные расходы на механическую очистку и сушку. На сегодняшний день потребность российской нефтегазовой отрасли в бентонитовой глине составляет около 150 тыс. т в год, ежегодно она возрастает на 3-5 % (4,5-7,5 тыс. т в год).

Сапонитовая глина, в свою очередь, является составляющей шлама обогащения кимберлитовой руды, что указывает на более низкую себестоимость по сравнению с бентонитовыми глинами, так как добыча данного ресурса исключается из последовательности его получения. Предложенная в данной работе технология переработки сапонитового шлама предполагает получение 5,28 тыс. т сапонитового глинопорошка в год, что позволит частично покрывать возрастающую потребность бурового сервиса в глинистом сырье для буровых растворов.

В диссертации проведено сравнение физических свойств сапонитовой и бентонитовой глин, реологических характеристик водно-сапонитовых суспензий с характеристиками буровых растворов на водной основе, а также суспензий органофильных сапонитовой и бентонитовой глин в углеводородных жидкостях.

Степень разработанности темы исследования. Наиболее эффективным методом утилизации шлама обогащения алмазоносной руды считается его сгущение посредством физического или химического воздействия. Физические методы осаждения сапонитового шлама представлены в работах Карпенко Ф.С., Бахарева С.А. и Миненко В.Г. Применение химических реагентов для сгущения сапонитового шлама рассмотрено в работах Утина А.В., Алексеева А.И. и Айзенштадта А.М. Принципиально важно, что в этих исследованиях не ставилась задача выделения и концентрирования собственно глинистой составляющей, которая представляет наибольшую ценность. В частности, для применения глин при получении буровых растворов крайне важно избавиться от абразивных частиц, представленных в шламе песком.

Запасы сапонита обнаружены во многих странах, включая Украину (Варварское месторождение), Японию (Тотиги), Грецию (Веланида) и США (Амаргоса). Химический и минеральный состав добываемых на этих месторождениях глин может отличаться, однако

преобладающим минералом в них является сапонит, обуславливающий сходство физико-химических свойств. Известны исследования свойств природных сапонитовых глин после механической активации (Petra L.), кислотной обработки (Зубкова О.С.), модификации полимерами (Yanovska E.) и четвертичными аммониевыми солями (Чантурия В.А.). Однако большинство исследователей рассматривает природный и обработанный сапонит в качестве сорбента тяжелых и цветных металлов; данные об использовании модифицированного сапонита в качестве реологической добавки в буровые растворы отсутствуют.

Объект исследования - сапонитсодержащий шлам обогащения алмазоносной руды.

Предмет исследования - изучение условий получения сапонитового глинопорошка из шлама обогащения кимберлитовой руды с дальнейшей модификацией его органическими веществами для придания глине олеофильных свойств.

Цель исследования – разработка технологических основ утилизации сапонитсодержащего шлама с получением сапонитового глинопорошка и органофильной сапонитовой глины для использования в качестве буровых реагентов.

Идея работы – внедрение в технологию переработки сапонитсодержащего шлама стадии сепарации абразивных частиц, позволяющей получить сапонитовый глинопорошок высокой степени чистоты и обеспечить получаемым продуктам свойства буровых реагентов.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ предложенных способов снижения техногенной нагрузки на экосистему в районе Ломоносовского ГОКа за счет переработки сапонитового шлама; оценить возможность использования сапонитовой глины в качестве сырья для буровых реагентов наряду с бентонитовыми глинами, включая получение её органофильной формы.

2. Изучить минеральный и химический состав сапонитового шлама и сапонитового глинопорошка, полученного из шлама посредством сепарации и концентрирования.

3. Установить условия приобретения сапонитовой глиной олеофильных свойств в результате модификации азотсодержащими органическими соединениями.

4. Определить реологические свойства дисперсий с твердой фазой, представленной сапонитовым глинопорошком и органофильной сапонитовой глиной.

Научная новизна работы:

1. Получен сапонитовый глинопорошок с содержанием сапонита более 90%, по методу Кривовичева установлена кристаллохимическая формула сапонитовой глины Ломоносовского месторождения, отличающегося высоким содержанием железа (III).

2. Установлено, что при модификации сапонитовой глины происходит поверхностное взаимодействие глинистых частиц с катионами четвертичных аммониевых солей в результате ионного обмена, при этом не происходит интеркаляции реагентов в межслоевое пространство минерала.

3. Модификация сапонитового глинопорошка четвертичными аммониевыми солями в течение 45–60 минут при массовом соотношении модификатор:глина 2:5 и соотношении жидкой и твердой фаз (Ж:Т) 1:1 обеспечивает приобретение ею олеофильных свойств.

4. Доказано, что водно-сапонитовая суспензия в присутствии полианионной целлюлозы (1–4 г/л) соответствует модели течения Гершеля-Балкли; суспензия на углеводородной основе с твердой фазой, представленной органофильной сапонитовой глиной, соответствует модели течения Бингама.

Соответствие паспорту специальности. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ по пунктам:

1. Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты.

3. Механические процессы изменения состояния, свойств и формы сырья материалов и компонентов в неорганических технологических процессах.

4. Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты.

6. Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами.

Практическая значимость работы:

Разработан способ полезной утилизации многотоннажного отхода АО «Севералмаз» сапонитового шлама обогащения кимберлитовой руды, который позволит организовать производство сапонитового глинопорошка и органофильной сапонитовой глины.

На основании данных о гидрофобизации сапонитовой глины посредством модификации азотсодержащими органическими соединениями получен патент № 2837427 «Способ получения органофильной сапонитовой глины». Акт внедрения результатов диссертационного исследования в деятельность компании АО «НПО «ПОЛИЦЕЛЛ» от 24.12.2024 г. содержит информацию об испытаниях органофильной сапонитовой глины в качестве реагента для повышения вязкости буровых растворов на углеводородной основе.

Предлагаемая технология позволит предприятию утилизировать сапонитовый шлам и получить дополнительную прибыль от реализации товарной продукции, что подтверждается патентами № 2802778 «Способ получения глинопорошка и песка из сапонитового шлама», № 2818698 «Способ получения магний-аммонийного фосфата из сапонитового шлама».

Положения, выносимые на защиту:

1. Введение полианионной целлюлозы в концентрации 1-4 г/л в водную суспензию сапонита с содержанием взвешенных веществ 85 г/л позволяет регулировать реологические и фильтрационные характеристики системы, обеспечивая повышение её вязкости в 2 раза и снижение показателя фильтрации в 3 раза.

2. Модификация сапонита четвертичными аммониевыми солями приводит к получению олеофильной глины, введение которой в

углеводородную основу повышает её вязкость в 1,5–2,5 раза и обеспечивает седиментационную устойчивость, что позволяет использовать её в качестве структурообразователя буровых растворов на углеводородной основе.

Методология и методы исследования. Экспериментальные исследования, представленные в диссертационной работе, проводились на базе научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов», центра компетенций в области техники и технологий освоения месторождений в Арктических условиях, центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II. Для исследования глинистых материалов до и после обработки органическими веществами использовались такие физико-химические методы, как термогравиметрический анализ, рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия. С целью оценки эффективности органической модификации определялся краевой угол смачивания полученных образцов. Реологические свойства суспензий с водной и углеводородной дисперсионной средой оценивались по стандартам American Petroleum Institute (API)

Степень достоверности результатов экспериментальных исследований, представленных в диссертационной работе, обоснована применением стандартизированных и современных физико-химических методов исследований и с использованием поверенных приборов, а также на воспроизводимости и сходимости полученных данных.

Личный вклад автора состоит в анализе литературных источников, разработке методики и проведении экспериментальных исследований, а также проведении лабораторно-промышленных опытов по получению сапонитового глинопорошка и органически модифицированных глин, обобщении полученных экспериментальных результатов, анализе и обсуждении их с научным руководителем, описании полученных результатов в публикациях, апробации защищаемых положений диссертации.

Апробация результатов диссертации проведена на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных; за последние 3 года принято участие в 3 научно-

практических мероприятиях с докладами, в том числе на 1 международной: XI форум вузов инженерно-технического профиля Союзного государства (12-16 декабря 2022 г., г. Минск); III Международная научно-практическая конференция «Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-техническими условиями их разработки» (15 февраля 2023 г., г. Тюмень); V Всероссийская научная конференция «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» (27-30 октября 2023 г., г. Белгород); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2024» (12-26 апреля 2024 г., г. Москва); XXII Всероссийская 70 научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая» (22-25 апреля 2025 г., г. Кемерово).

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 3 патента на изобретения

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 5 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 127 наименований, списка сокращений и условных обозначений и 5 приложений. Диссертация изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка и 34 таблицы.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю к.т.н., старшему научному сотруднику научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» О.С. Зубковой, к.т.н. заведующему лабораториями центра компетенций в области техники и технологий освоения месторождений в Арктических условиях В.Н. Кучину, к.т.н., научному сотруднику научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» А.Б. Лебедеву, к.х.н., ведущему инженеру Центра

коллективного пользования Т.Н. Копыловой, к.т.н. А.А. Царевой, В.А. Вершининой за продолжительную совместную работу и научно-исследовательскую деятельность. Автор выражает благодарность коллективу компании АО «Севералмаз» за содействие в выполнении диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена проблематика и обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыта практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён обзор глинистых минералов, методов модификации и применения органофильных глин. Рассмотрена проблема сапонитового шлама Ломоносовского ГОКа (объёмы накопления, складирование, экология), что обосновывает актуальность разработки технологии его переработки.

Во второй главе описаны объект исследования, методы, оборудование, реактивы и методики моделирования реологических свойств суспензий на водной и углеводородной основе. Выбран способ получения органофильной сапонитовой глины.

В третьей главе описан минеральный состав шлама и полученного глинопорошка, по данным КОЕ и межслоевой воды рассчитана кристаллохимическая формула сапонита. Исследование кислотно-основных центров объяснило взаимодействие частиц с электролитами.

В четвёртой главе исследованы свойства сапонитовой глины, модифицированной азотсодержащими веществами. Оптимальные условия модификации: метод «пасты», соотношение модификатор:глина 2:5, время 45–60 мин. Наилучшие олеофильные свойства — у глины с диалкилдиметиламмония хлоридом.

В пятой главе разработаны технологические схемы переработки шлама обогащения кимберлитовой руды для получения сапонитового глинопорошка и органофильной сапонитовой глины. На основе лабораторных опытов выполнен технико-экономический расчёт эффективности предложенных технологий и применения продуктов в качестве буровых реагентов.

В заключении представлены итоговые научные результаты проведенных исследований, подтверждающие достижение поставленной цели и задач; обозначены перспективы дальнейших исследований в рамках темы работы.

Основные результаты работы отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Введение полианионной целлюлозы в концентрации 1-4 г/л в водную суспензию сапонита с содержанием взвешенных веществ 85 г/л позволяет регулировать реологические и фильтрационные характеристики системы, обеспечивая повышение её вязкости в 2 раза и снижение показателя фильтрации в 3 раза.

Сапонитовый глинопорошок, полученный по схеме рисунка 1, предлагается к использованию в качестве структурообразующего агента в буровых растворах на водной основе, представляющих собой сапонитсодержащие суспензии. Для получения седиментационно устойчивых сапонитсодержащих суспензий заданной вязкости установлены закономерности взаимодействия глинистых частиц с электролитами: содосульфатная смесь, полиакриламид (ПАА), полианионная целлюлоза (ПАЦ). Экспериментально установлено, что седиментационно устойчивые суспензии образуются при введении ПАЦ. В таблице 1 представлено изменение реологических характеристик водно-сапонитовой суспензии с содержанием твердых частиц 85 г/л при различной концентрации ПАЦ.

Таблица 1 – Реологические и фильтрационные характеристики водно-сапонитовых суспензий в присутствии ПАЦ

Концентрация ПАЦ, г/л	Плотность, г/см ³	СНС, дПа	СНС ₁₀ , дПа	ДНС, дПа	Пластическая вязкость, сПз	Фильтрация, см ³ /30 мин
0	1,04	4,8	14,4	0	14,4	22
1	1,05	24,0	38,4	4,8	38,4	9
2	1,07	9,6	48,0	24,0	62,4	9
3	1,10	14,4	28,8	52,8	72	8
4	1,12	14,4	14,4	52,8	91,2	7

При введении ПАЦ пластическая вязкость суспензии возрастает в 2–6 раз в зависимости от концентрации реагента, показатель

фильтрации снижается в 2,5–3 раза (до 7–9 см³/30 мин). Реологическое поведение при концентрациях ПАЦ 1–4 г/л показано на рисунке 2. Модель течения — Гершеля-Балкли, что характерно для водных буровых растворов. Таким образом, сапониновый глинопорошок целесообразно применять как буровой реагент в комбинации с ПАЦ.

Для сапониновой глины методом Танабе (рисунок 3) определено распределение активных центров: наиболее выражены кислотные центры Льюиса (рКа +15,0) и Бренстеда (рКа +2,5). Полианионная целлюлоза (ПАЦ) в водном растворе диссоциирует с образованием длинной полианионной цепи. Её адсорбция на глинистых частицах происходит за счёт водородных связей гидроксильных и карбоксилатных групп с кислородом на поверхности (рисунок 4 а) либо координационных связей с атомами Al, выступающими как кислоты Льюиса (рисунок 4 б).

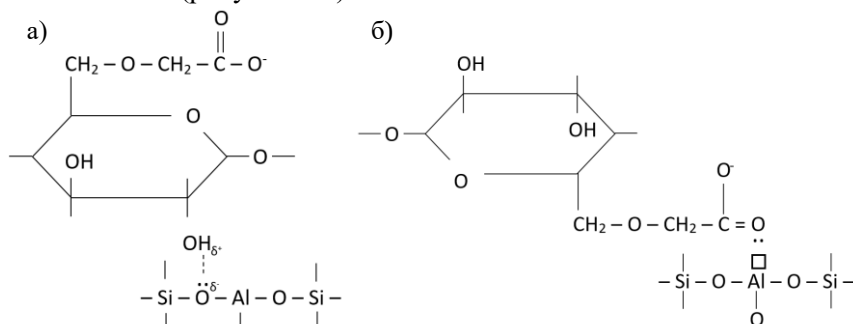


Рисунок 4 - Взаимодействие ПАЦ с поверхностью глинистых частиц: а) водородная связь; б) координационная связь

2. Модификация сапонита четвертичными аммониевыми солями приводит к получению олеофильной глины, введение которой в углеводородную основу повышает её вязкость в 1,5–2,5 раза и обеспечивает седиментационную устойчивость, что позволяет использовать её в качестве структурообразователя буровых растворов на углеводородной основе.

Органофильную сапониновую глину предлагается использовать в качестве реагента для буровых растворов на углеводородной основе. Олеофильные свойства сапониновому глинопорошку придавались посредством модификации азотсодержащими органическими веществами: аминокислотой, цетилпиридиния бромидом

(ЧАС 1) и диалкилдиметиламмония хлоридом (ЧАС 2). Модификация проводилась способом сухого смешивания и способом «пасты» (ж:т = 1:1). Эффективность модификации сапонитовой глины органическими веществами оценивалась по устойчивости суспензий полученных материалов в ксилоле (ГОСТ Р 59456-2021) (таблица 2), а также в органических жидкостях: дизельной фракции (180-350 °С) и масле «Титан 5IND», выбранных в качестве углеводородной основы (ГОСТ 33697-2015) (таблица 3). Установлено, что наиболее эффективным является способ «пасты» при соотношении модификатор-глина 2:5, данные таблиц представлены для этих образцов.

Таблица 2 - Оценка полученных органофильных глин по ГОСТ Р 59456-2021

Наименование показателя	Норма	Реагент-модификатор		
		Аминоуксусная кислота	ЧАС 1	ЧАС 2
Коэффициент седиментации в ксилоле	0,9-1,0	0,7	0,8	0,9
Пластическая вязкость суспензии в ксилоле с массовой долей 6%, не менее, МПа·с	4	2	4	5
Динамическая вязкость суспензии в ксилоле с массовой долей 6%, не менее, МПа·с	13	11	13	15
Предел текучести (ДНС) суспензии в ксилоле с массовой долей 6%, не менее, Па	3	2	5	7

Из таблицы 2 следует, что наиболее эффективный реагент для получения органофильной сапонитовой глины – ЧАС 2. При выдерживании в течение 16 часов суспензии сохраняют свои реологические свойства. При введении органофильной сапонитовой глины в дизельную фракцию (180-350°С) пластическая вязкость повышается в 1,5 раза, при введении в масло «Титан 5IND» - в 2,5 раза (рисунок 5).

Таблица 3 – Оценка органофильной сапонитовой глины по ГОСТ 33697-2015

Образец	Время выдерживания, ч	ДНС, дПа	СНС, дПа		Пластическая вязкость, сПз
			10 с	10 мин	
Дизельная фракция (180-350°С)	0	9,6	19,2	38,4	33,6
Сапонит, модифицированный ЧАС 2	0	4,8	7,2	7,2	48,0
	16	4,8	7,2	7,2	43,2
Масло «Титан 5IND»	0	4,8	19,2	38,4	19,2
Сапонит, модифицированный ЧАС 2	0	28,8	4,8	4,8	48,0
	16	28,8	4,8	4,8	48,0

Модели течения полученных суспензий соответствуют модели Бингама, характерной для буровых растворов на углеводородной основе.

На основании проведенных исследований предложена технологическая схема получения органофильной сапонитовой глины из сапонитового глинопорошка (рисунок 6).

При модификации сапонитовой глины четвертичными аммониевыми солями поверхность сапонитовых частиц становится энергетически однородной (рисунок 7), «покрытой» алкильными радикалами, следовательно, поверхность приобретает органофильные свойства.

Отрицательный заряд глинистых частиц возникает из-за дефектов решётки и изоморфных замещений, обеспечивая катионный обмен, за счёт которого происходит модификация азотсодержащими веществами (рисунок 8 а, в, г). Появление новых кислотных центров Льюиса при обработке глины аминокислотой способом «пасты» (рисунок 7) объясняется сорбцией цвиттер-ионов на центрах Бренстеда, что даёт группы -NH_3^+ , регистрируемые как центры Льюиса (рисунок 8 б).

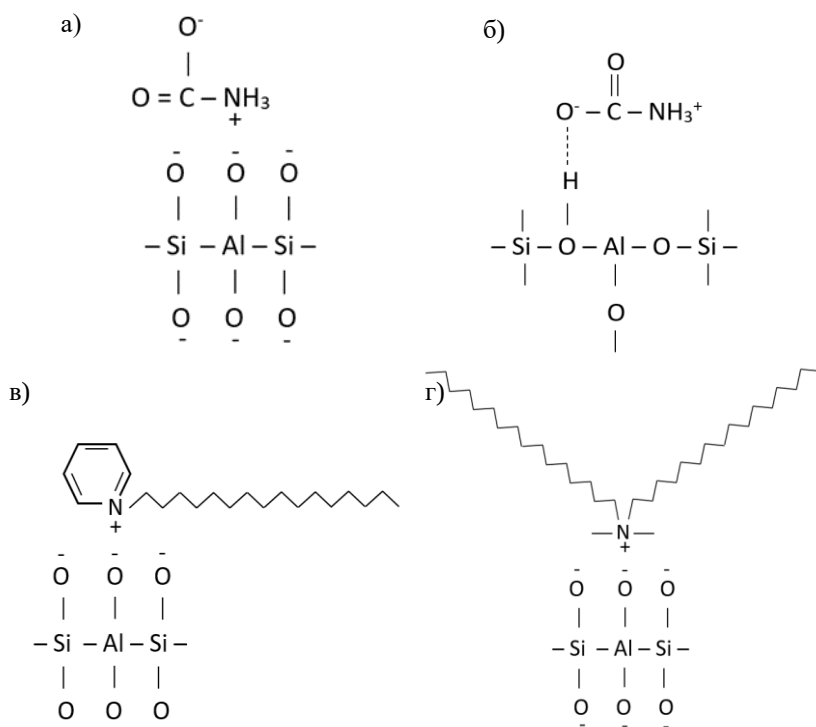


Рисунок 8 - Взаимодействие четвертичных аммониевых соединений с активными центрами поверхности глинистых частиц:

а-б) аминуксусная кислота; в) ЧАС 1; г) ЧАС 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложено новое технологическое решение по утилизации шлама обогащения кимберлитовой руды с получением сапонинового глинопорошка, предлагаемого в качестве реагента для буровых растворов на водной основе. Описана модификация сапониновой глины четвертичными аммониевыми солями для получения высокорентабельного продукта – реологической добавки в буровые растворы на углеводородной основе.

Полученные результаты диссертационного исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. На основании результатов экспериментальных исследований установлена кристаллохимическая формула сапонитовой глины Ломоносовского месторождения

$\{4\text{H}_2\text{O}[(\text{Na}, \text{Mg}, \text{K})_{0,94}\text{Ca}_{0,17}]_{1,11}\}(\text{Mg}_{1,82}\text{Fe}^{3+}_{0,35}\text{Al}_{0,42})_3[\text{Al}_{0,58}\text{Si}_{3,42}]_4(\text{O}_{9,55}\text{OH}_{2,45})_{12}$. Поверхность частиц сапонитовой глины представлена преимущественно кислотными центрами Льюиса, образованными за счет незавершенных координационных связей.

2. Разработана технологическая схема комплексной переработки шлама обогащения алмазонасной руды с получением в качестве товарного продукта сапонитового глинопорошка с содержанием сапонита свыше 90%. Преимущество данной схемы, по сравнению с разработанными ранее другими авторами, состоит в том, что сапонитовый глинопорошок может использоваться как сырье для широкого ряда товарных продуктов, в том числе органофильной сапонитовой глины.

3. Сапонитовый глинопорошок в комбинации с полианионной целлюлозой (ПАЦ) позволяет получить седиментационно устойчивую суспензию с низкой водоотдачей (7–9 см³/30 мин), что указывает на перспективность использования ПАЦ для повышения вязкости буровых растворов на водной основе. Реологическая модель такой суспензии соответствует модели течения Гершеля-Балкли.

4. Разработан способ получения органофильной сапонитовой глины посредством модификации азотсодержащими органическими соединениями. Установлено, что наиболее эффективным модифицирующим агентом является диалкилдиметиламмония хлорид (ЧАС 2). Для модификации необходимо применять способ «пасты» при соотношении модификатор-глина 2:5 и времени контакта 45–60 минут. Предложена технологическая схема получения органофильной сапонитовой глины на основе сапонитового глинопорошка.

5. Изменение распределения кислотно-основных центров по поверхности сапонитовых частиц после модификации четвертичными аммониевыми солями свидетельствует о блокировке кислотных центров Льюиса катионами реагентов-модификаторов. Вязкость суспензии органофильной сапонитовой глины в масле «Титан 5IND» сравнима с вязкостью суспензии органофильной глины «NeoInvert

Bent S» в масле «Титан 5IND». Модели течения полученных суспензий отвечают модели течения Бингама.

6. Произведен технико-экономический расчет затрат предприятия на технологическое оборудование при реализации предлагаемых схем. Показана экономическая эффективность применения сапонитового глинопорошка в приготовлении буровых растворов для заданных геолого-технических условий бурения.

Переработка сапонитового шлама с получением в качестве товарного продукта органофильной сапонитовой глины имеет высокие коммерческие и экологические перспективы. Благодаря низкой стоимости сырья продукт обладает огромным ценовым преимуществом при высоких эксплуатационных характеристиках. Дальнейшие исследования по получению органофильной сапонитовой глины могут иметь практическое применение не только для нефтегазового сервиса, но также и для строительной отрасли (производство сухих строительных смесей и лакокрасочных материалов), водоочистки (производство сорбентов).

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Зубкова, О.С. Исследования сорбционных способностей сапонитового глинистого минерала по отношению к ионам Cu^{2+} / О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**, К.А. Панкратьева // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2023. – №. 1 (217). – С. 49-56.

2. Зубкова, О.С. Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии / О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина** // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2023. – Т. 84, №. 4. – С. 178-184.

3. Зубкова, О.С. Комплексная переработка сапонитового шлама с получением глинопорошка / О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**, К.А. Панкратьева // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2024. – №. 1 (221). – С. 76-82.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

4. Зубкова, О.С. Разработка состава и исследование свойств сорбента на основе сапонита / О.С. Зубкова, И.Н. Пягай, К.А. Панкратьева, **М.А. Торопчина** // Записки Горного института. – 2023. – Т. 259. – С. 21-29. DOI: 10.31897/PMI.2023.1.

5. Zubkova, O.S. Potential Application of Saponite Clay for Production of Drilling Fluids / O.S. Zubkova, V.N. Kuchin, **M.A. Toropchina**, A.S. Ivkin // International Journal of Engineering. Transactions B: Applications. 2024. – Vol. 37, No.11. – pp. 2142-2149. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.01.

6. Зубкова, О.С. Кислотное выщелачивание магния из сапонитовой глины / О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**, К.А. Панкратьева // Обогащение руд. – 2025. – № 2. – С. 45-50. DOI 10.17580/or.2025.02.07.

Публикации в прочих изданиях:

7. **Торопчина, М. А.** Применение сапонитовой глины для получения бурового раствора / **М.А. Торопчина**, О.С. Зубкова // Актуальные проблемы недропользования : Тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15-21 мая 2022 год. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. - Т. 1. – С. 302-304.

8. **Торопчина, М.А.** Перспективы использования сапонитовой глины как структурообразующего агента в буровых растворах / **М.А. Торопчина**, В.Н. Кучин // Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки: Материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 15 февраля 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 93-96.

9. **Торопчина, М.А.** Сапонитовая глина как новый сырьевой источник для получения буровых растворов / **М.А. Торопчина** // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Материалы Международной научной

конференции, Алушта-Белгород, 30 мая – 03 июня 2022 года. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 362-366.

10. Зубкова О.С. Комплексный подход к решению проблемы утилизации шлама обогащения кимберлитовой руды / О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина** // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 23–27 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 226-230.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

11. Патент на изобретение № 2802778 Российская Федерация, МПК C04B 33/132 (2006.01), СПК C04B 33/132 (2023.05). Способ получения глинопорошка и песка из сапонитового шлама. Заявка № 2023101611: заявл. 26.01.2023: опубл. 01.09.2023; В.Н. Кучин, О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 9 с. : ил.

12. Патент на изобретение № 2818698 Российская Федерация, МПК C01B 25/34 (2006.01), C01B 25/45(2006.01), C22B 7/00(2006.01), СПК C01B 25/34 (2024.01); C01B 25/45 (2024.01); C22B 7/006 (2024.01). Способ получения магний-аммонийного фосфата из сапонитового шлама. Заявка № 2023123961 : заявл. 18.09.2023 : опубл. 03.05.2024 ; О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**, Е.А. Волошук; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 13 с.

13. Патент на изобретение № 2837427 Российская Федерация, МПК C01B 33/44 (2006.01), C09C 1/42 (2006.01), C09C 3/10 (2006.01), СПК C01B 33/44 (2025.01); C09C 1/42 (2025.01); C09C 3/10 (2025.01). Способ получения органофильной сапонитовой глины. Заявка № 2024118181 : заявл. 01.07.2024 : опубл. 31.03.2025; О.С. Зубкова, **М.А. Торопчина**; заявитель/патентообладатель федеральное госу-

дарственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 6 с.

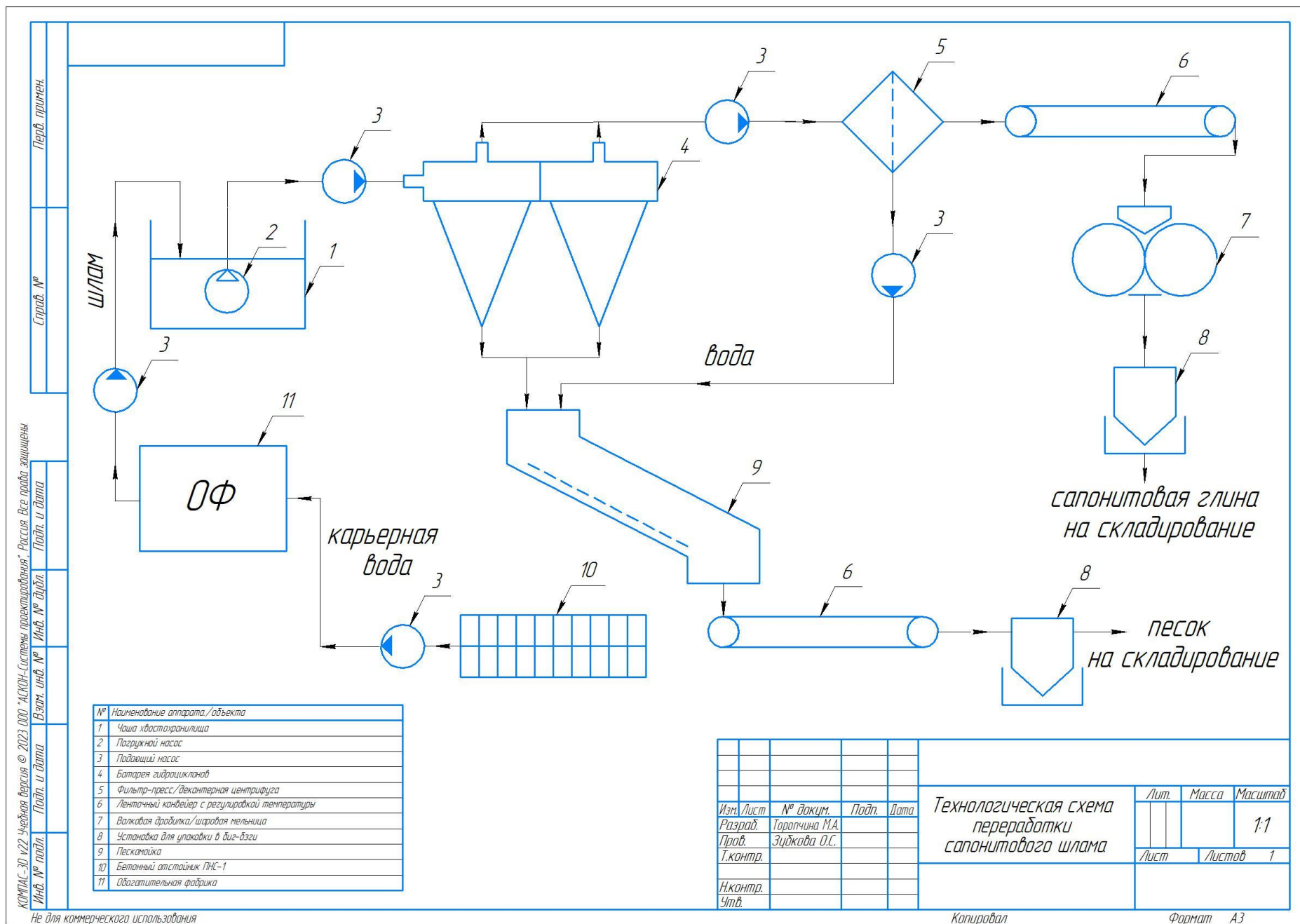


Рисунок 1 - Технологическая схема комплексной переработки шлама обогащения алмазоносной руды с получением сапонитового глинопорoshка

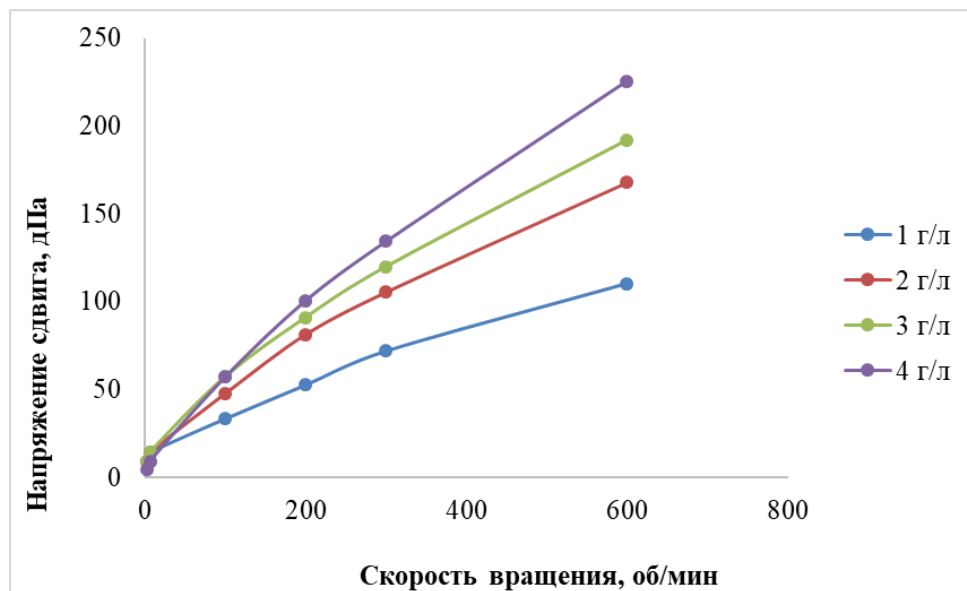
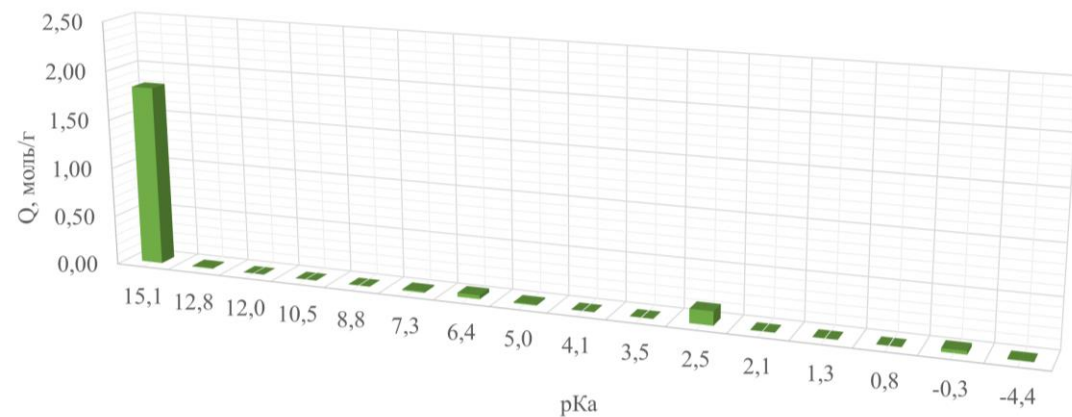


Рисунок 2 - Модели течения суспензий при введении ПАЦ (модель Гершеля-Балкли)



	15,1	12,8	12,0	10,5	8,8	7,3	6,4	5,0	4,1	3,5	2,5	2,1	1,3	0,8	-0,3	-4,4
■ Исходный сапонит	1,82	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01

Рисунок 3 – Распределение кислотно-основных центров по поверхности сапонитовых частиц (pH = 9)

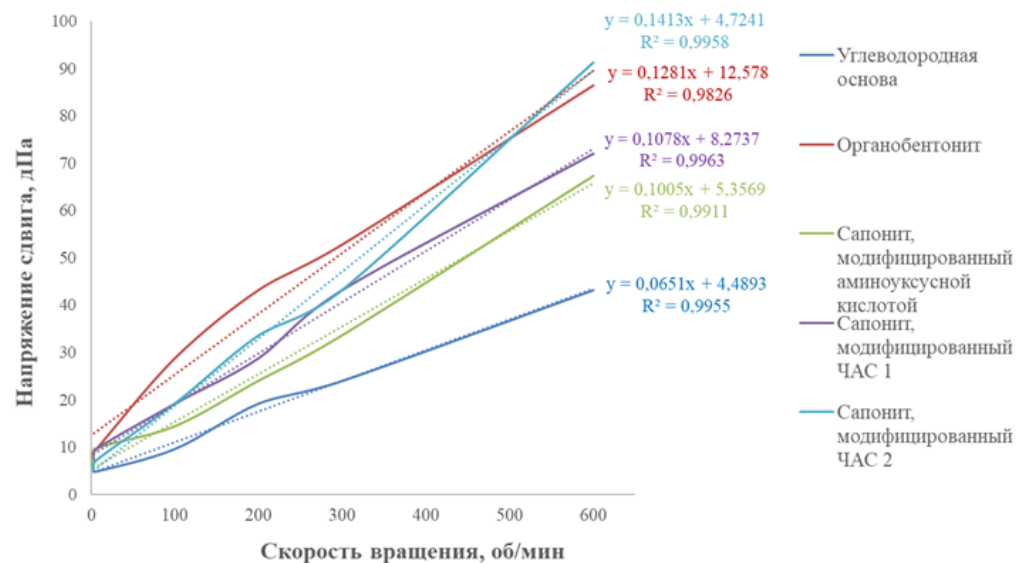
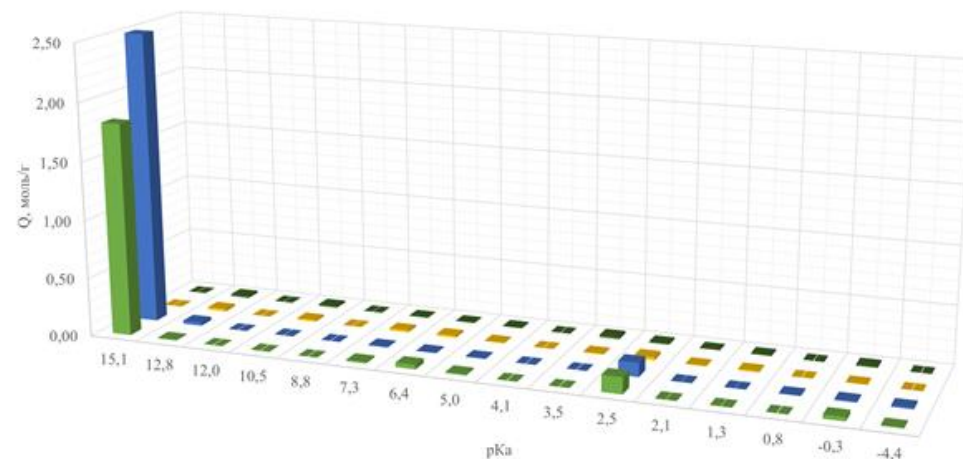


Рисунок 5 - Модели течения суспензий с дисперсионной средой, представленной маслом «Титан 5IND» сразу после получения



	15,1	12,8	12,0	10,5	8,8	7,3	6,4	5,0	4,1	3,5	2,5	2,1	1,3	0,8	-0,3	-4,4
■ Исходный сапонит	1,82	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
■ Сапонит, модифицированный аминокислотой	2,54	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
■ Сапонит, модифицированный ЧАС 1	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
■ Сапонит, модифицированный ЧАС 2	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

Рисунок 7 - РЦА на поверхности образцов сапонитовой глины, полученных способом «пасты»

