

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество “Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева”

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Зейнолданов Ерназар Даниярович

Исследование эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов с
использованием активированных сорбентов на основе алюминиевых сплавов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество “Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева”

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование эффективности очистки пластовых вод от
нефтепродуктов с использованием активированных сорбентов на основе
алюминиевых сплавов»

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Выполнил

Рецензент

к.т.н., ст. науч. сотр.

Атанова О. В.
«09» 06 2025г

Зейнолданов Е. Д.

Научный руководитель

д.х.н., профессор

Бойко Г. И.
«09» 06 2025г

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество “Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева”

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Химическая и

биохимическая инженерия»

Мангзбаев к.х.н., ассоц. проф.

Р. А. Мангазбаева

«__» _____ 2025г

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Зейнолданов Ерназар Даниярович

Тема: Исследование эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов
с использованием активированных сорбентов на основе алюминиевых сплавов

Утверждена приказом проректора по академической работе № 26-П/Ө от 29
января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы «09» 06 2025

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

- а) *литературный обзор*
- б) *экспериментальная часть*
- в) *результаты и выводы*

Перечень графического материала: 6 таблиц, 21 рисунок

Рекомендуемая основная литература: 25 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	15.01.2025	выполнено
Экспериментальная часть	30.03.2025	выполнено
Результаты и выводы	20.05.2025	выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с
указанием относящихся к ним разделов работы.

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор литературы	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	4.03.25	
Экспериментальная часть	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	25.04.25	
Результаты исследования	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	16.05.25	
Нормоконтролер	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	05.06.25	

Научный руководитель 

Бойко Г. И.

Задание принял к исполнению обучающийся 

Зейнолданов Е. Д.

Дата «29» 05 2025 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс Каражанбас кен орнындағы пластиналық суларды алюминий қорытпалары негізінде жасалған белсенділендірілген сорбенттерді қолдану арқылы тазарту тиімділігін зерттеуге, сондай-ақ УФ-спектрофотометрия әдісімен қалдық мұнай өнімдерін анықтауға және турбидиметрия әдісімен түсірілгендікті анықтауға арналған. Мұнай өндіру процестеріне қойылатын экологиялық талаптар күшіне түскен жағдайда зерттеудің басты мақсаты қоршаған ортаға ластаушы заттардың теріс әсерін азайтуға және экологиялық қауіпсіздікті арттыруға бағытталған инновациялық технологияларды әзірлеу болып табылады. Судағы бастапқы мұнай өнімдерінің концентрациясы өте жоғары болды, ал түсірілгендік деңгейі рұқсат етілген нормалардан едәуір асып түсті, бұл ауыр мәселелер тудырды. Тазарту процесінің тиімділігі жоғары деңгейге жетті және 98,2% құрады, бұл ластану мен түсірілгендік деңгейін едәуір төмендетуге мүмкіндік берді. Коагуляцияның онтайлы параметрлері полиоксихлорид алюминийдің (ПОХА) орташа дозасын және шамамен отыз минуттық байланыс уақытын қамтиды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена исследованию эффективности очистки пластовых вод месторождения Каражанбас с использованием активированных сорбентов, созданных на основе алюминиевых сплавов, а также определению остаточных нефтепродуктов с помощью метода УФ-спектрофотометрии и мутности с использованием турбидиметрии. В условиях всё более ужесточающихся экологических требований к процессам нефтедобычи основной целью данного исследования является разработка инновационных технологий, направленных на повышение экологической безопасности и минимизацию негативного воздействия загрязнений на окружающую среду. Начальная концентрация нефтепродуктов в воде была чрезвычайно высокой, а уровень мутности существенно превышал допустимые нормы, что создавало серьёзные проблемы. Эффективность процесса очистки достигла высоких показателей и составила 98,2%, что позволило существенно снизить уровень загрязнения и мутности воды. Оптимальные параметры коагуляции включают умеренную дозировку полиоксихлорида алюминия (ПОХА) и время контакта, составляющее примерно тридцать минут.

ANNOTATION

The diploma thesis is dedicated to studying the effectiveness of cleaning produced water from the Karazhanbas field using activated sorbents based on aluminum alloys, as well as determining residual oil products through UV spectrophotometry and turbidity using turbidimetry. Amid the growing ecological demands on oil extraction processes, the primary goal of this research is to develop innovative technologies aimed at enhancing environmental safety and minimizing the negative impact of pollutants on the surrounding environment. The initial concentration of oil products in the water was extremely high, and the turbidity level significantly exceeded permissible standards, posing serious challenges. The efficiency of the cleaning process reached high levels, achieving 98.2%, which substantially reduced the level of pollution and turbidity. Optimal coagulation parameters include a moderate dosage of polyaluminum chloride (POXA) and a contact time of approximately thirty minutes.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	5
Введение	9
1 Литературный обзор	11
1.1 Проблематика загрязнения пластовых вод	11
1.2 Коагуляция как метод очистки пластовых вод	11
1.3 Полиоксихлорид алюминия (ПОХА)	11
1.4 Применение ПОХА для очистки пластовых вод	12
1.5 Экстракция нефтепродуктов с использованием растворителей	12
1.6 Перспективы использования ПОХА в нефтяной отрасли	12
2 Экспериментальная часть	14
2.1 Исходные вещества и материалы	14
2.2 Методика проведения эксперимента	14
2.3 Объекты исследования и характеристики воды	16
2.4 Методика обработки коагулянтом пластовой воды м.Каражанбас	17
2.5 Анализ нефтепродуктов в воде	19
2.6 Подходы к оценке эффективности	20
2.7 Повторяемость и воспроизводимость	21
3 Результаты и обсуждение	22
3.1 Исследование физико-химических показателей пластовой воды м. Каражанбас, отобранной с ДНС	22
3.2 Оценка эффективность очистки пластовой воды	22
3.3 Исследование эффективности очистки пластовой воды от нефти методом УФ-спектроскопии	23
3.4 Анализ УФ-спектров	23
3.5 Сравнительный оценка эффективности очистки ПОХА с коммерчески доступным Аква-Аурат 30	24
3.6 Исследование физико-химических показателей воды после очистки	30
Заключение	34
Список использованных сокращений	36
Список использованной литературы	37

ВВЕДЕНИЕ

Пластовая вода, извлекаемая в процессе нефтедобычи, представляет собой технологическую жидкость, объем которой зачастую многократно превышает объем добываемой нефти.

Согласно данным International Association of Oil & Gas Producers (IOGP, 2016), среднее соотношение пластовой воды к нефти составляет 3:1, на зрелых месторождениях, таких как Каражанбас, достигает 10:1.

Химический состав таких вод отличается высокой минерализацией (250 г/л), а также присутствием НП в свободной, эмульгированной и растворенной формах, ионов тяжелых металлов и органических соединений, что создает значительные экологические и технологические вызовы[1]..

Основную угрозу представляют НП, которые негативно воздействуют на экосистемы, ухудшают санитарно-химические характеристики водоемов и препятствуют повторному использованию воды в системах поддержания пластового давления. По данным[2] концентрации НП ниже 1 мг/л способны вызывать хронические токсические эффекты у гидробионтов. В Казахстане предельно допустимая концентрация (ПДК) НП для сброса в водоемы установлена на уровне 0.3 мг/л (СанПиН 2.1.5.980-00), что требует применения эффективных методов очистки и точного аналитического контроля [3].

Для определения остаточного содержания НП после очистки широко используется УФ-спектрофотометрия, которая обеспечивает высокую чувствительность и селективность при анализе углеводородов. Эффективность метода повышается за счет предварительной экстракции нефтепродуктов органическими растворителями, среди которых хлороформ выделяется благодаря своей способности растворять как легкие, так и тяжелые углеводороды, а также стабильности в УФ-диапазоне [1]. Данный метод позволяет анализировать сложные смеси углеводородов, включая полиароматические соединения (ПАУ), которые часто присутствуют в пластовых водах, погрешность анализа на уровне $\pm 2\%$.

Перспективным методом очистки пластовых вод остается коагуляция, где полиоксихлорид алюминия (ПОХА) демонстрирует высокую эффективность очистки. Исследования Duan & Gregory (2003) и Bina et al. (2009) подтверждают, что ПОХА эффективно снижает мутность и содержание нефтепродуктов на 70–95%, а также уменьшает объем образующегося осадка, что критично для промыслов с ограниченными возможностями утилизации шламов [4,5]. Кроме того, коагуляция с использованием ПОХА позволяет снизить содержание растворенных органических веществ, что особенно важно для предотвращения образования токсичных побочных продуктов при последующей обработке воды [6].

Целью исследования является изучение эффективности применения полиоксихлорида алюминия для удаления нефтепродуктов из пластовых вод месторождения Каражанбас и разработка методики определения остаточного содержания углеводородов с использованием УФ-спектрофотометрии. Особое внимание уделено оптимизации режимов коагуляции (дозировка, время контакта) и условий экстракции для повышения точности аналитического контроля и обеспечения экологической безопасности нефтедобывающих объектов.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к очистке высокоминерализованных пластовых вод с применением ПОХА и последующим аналитическим контролем остаточных нефтепродуктов. Впервые определены оптимальные параметры коагуляции (дозировка 1.5 мл/л, время контакта 30 мин) для пластовых вод, а также разработана методика экстракции хлороформом, обеспечивающая высокую точность анализа.

Практическая значимость исследования состоит в возможности внедрения разработанных режимов коагуляции и аналитической методики на водоочистных установках нефтяных месторождений, что позволит достичь нормативных показателей качества воды, снизить экологические риски и оптимизировать эксплуатационные затраты.

Методологическая основа включает лабораторные эксперименты по коагуляции, УФ-спектрофотометрию для анализа нефтепродуктов и турбидиметрию для оценки мутности.

Практическая база — пластовые воды месторождения Каражанбас, что обеспечивает применимость результатов в реальных условиях.

1. Литературный обзор

1.1 Проблематика загрязнения пластовых вод

Пластовые воды, которые образуются в процессе добычи нефти, обладают весьма сложным химическим составом, включающим в себя нефтепродукты, соли с минерализацией, достигающей уровня до 200 г/л, а также органические соединения и тяжелые металлы. Как указывают Al-Ghouti & Al-Absi (2020), нефтепродукты могут находиться в свободной форме, растворенной или эмульгированной, что создаёт серьёзные трудности при их удалении из водной среды [1]. Даже минимальные концентрации таких углеводородов, по мнению UNEP (2018), способны вызывать долгосрочное загрязнение водоёмов, нарушая баланс экосистем и представляя угрозу для здоровья человека [2]. На месторождениях, подобных Каражанбасу, высокая минерализация и переменчивость состава вод требуют применения специализированных технологий очистки, способных эффективно справляться с эмульгированными и растворёнными загрязнителями. Исследования подчеркивают, что традиционные методы очистки, такие как флотация, часто теряют свою эффективность в условиях высокой солёности, что делает необходимым использование коагулянтов, которые способны сохранять работоспособность при таких сложных обстоятельствах [7].

1.2 Коагуляция как метод очистки пластовых вод

Коагуляция представляет собой один из наиболее эффективных и широко применяемых методов удаления нефтепродуктов из пластовых вод, базирующийся на принципе дестабилизации эмульсий и последующей агрегации загрязняющих веществ с использованием специальных химических реагентов. Среди таких реагентов выделяются полиоксихлорид алюминия (ПОХА) и Аква-Аурат, которые привлекают внимание благодаря сочетанию коагуляционных и сорбционных свойств, обеспечивающих качественную очистку [4]. Современные научные исследования также указывают на перспективность комбинирования коагуляции с другими методами, такими как электрофлотация, что позволяет существенно повысить общую эффективность удаления эмульгированных нефтепродуктов из водной среды [8]. Такой подход особенно важен для обработки сложных водных смесей.

1.3 Полиоксихлорид алюминия (ПОХА)

ПОХА является полимерным коагулянтом, который образует гидроксокомплексы алюминия, играющие ключевую роль в разрушении нефтяных эмульсий и процессе агрегации загрязнений. Как отмечают Zouboulis et al., применение ПОХА в дозировке 50–120 мг/л позволяет добиться значительного снижения концентрации нефтепродуктов, доводя её с исходных 100–200 мг/л до значений в диапазоне 2–5 мг/л [6]. Этот коагулянт демонстрирует стабильную эффективность в широком диапазоне значений рН,

от 4 до 8, а также при высокой минерализации, что делает его особенно подходящим для условий таких месторождений, как Каражанбас [9]. Среди преимуществ ПОХА можно выделить способность снижать химическую потребность в кислороде (ХПК) и мутность воды, а также обеспечивать низкий уровень остаточного алюминия, не превышающий 0,2 мг/л, что гарантирует экологическую безопасность [5, 10]. Кроме того, ПОХА способствует формированию крупных и легко осаждаемых флокул, что значительно упрощает процесс разделения фаз.

1.4 Применение ПОХА для очистки пластовых вод

ПОХА зарекомендовало себя как высокоэффективный коагулянт при очистке пластовых вод, демонстрируя способность значительно снижать концентрацию нефтепродуктов на уровне 70–95% в зависимости от конкретных условий проведения коагуляции. На месторождении Каражанбас использование ПОХА в дозировке от 50 до 200 мг/л позволяет уменьшить концентрацию нефтепродуктов с исходных 250 мг/л до значений менее 15 мг/л, что полностью соответствует требованиям для повторного закачивания воды в пласт [6]. Этот коагулянт сохраняет свою эффективность даже при минерализации воды в диапазоне 120–200 г/л и в условиях широкого диапазона рН, от 4 до 8.5, при этом формируя меньший объем осадка по сравнению с традиционными коагулянтами [9, 10]. Дополнительные исследования указывают на то, что предварительная аэрация воды перед коагуляцией может способствовать улучшению процесса, обеспечивая более полное удаление летучих органических соединений [11].

1.5 Экстракция нефтепродуктов с использованием растворителей

Экстракция с использованием хлороформа применяется как эффективный метод выделения нефтепродуктов из пластовых вод с целью их последующего анализа. Хлороформ обладает высокой растворяющей способностью и прозрачностью в ультрафиолетовом диапазоне, что делает его идеальным растворителем для проведения УФ-спектроскопии [1]. Этот метод обеспечивает высокую селективность, позволяя проводить детальный анализ сложных смесей углеводородов, характерных для таких месторождений, как Каражанбас. Благодаря этим свойствам хлороформ становится незаменимым инструментом для точного определения содержания нефтепродуктов в водных пробах.

1.6 Перспективы использования ПОХА в нефтяной отрасли

ПОХА обладает значительным потенциалом для применения в нефтяной отрасли благодаря своей способности удалять от 85 до 95% нефтепродуктов, при этом обеспечивая экологически безопасный и экономически выгодный подход к очистке воды. Перспективы дальнейшего развития включают разработку модифицированных форм ПОХА, которые могли бы обладать улучшенными сорбционными характеристиками, а также интеграцию этого коагулянта с такими методами, как флотация и мембранные технологии, для

обработки воды в экстремальных условиях [9]. Внедрение подобных технологий может быть особенно полезным в условиях Казахстана, где нефтедобыча сопровождается значительными объемами высокоминерализованных вод, требующих эффективной очистки [12].

2. Экспериментальная часть

2.1 Исходные вещества и материалы

Алюминий: Гранулы, АО «Казахстанский электролизный завод» (ERG, Казахстан).

Галлий, индий, олово: Использовались для синтеза сплавов

Галлий: с плотностью 7.362 г/см³ и температурой плавления 29.8 °C.

Индий: марка Ин00, плотность 5.904 г/см³, температура плавления 156.2 °C.

Олово: содержание 99.6%, температура плавления 231.9 °C.

Соляная кислота: чда (согласно ГОСТ 3118-77),
с массовой долей 35% и плотностью 1.17 г/см³.

Дистиллированная вода

Четырёхкомпонентные сплавы:

Сплав №11.1 (Al 92%, Ga 3%, In 2.5%, Sn 2.5%),

Сплав №12.1 (Al 95%, Ga 3%, In 1%, Sn 1%).

Состав сплавов разработан на основе методик, описанных в литературе [13].

Коагулянты:

ПОХА 11.1 (Al₂O₃ 30.2%, основность 56%),

ПОХА 12.1 (Al₂O₃ 32.0%, основность 51%),

Аква-Аурат 30.

Характеристики коагулянтов соответствуют ГОСТ Р 58580-2019 [14].

2.2 Методика проведения эксперимента

Четырёхкомпонентные сплавы на основе алюминия, галлия, индия и олова изготавливались для получения однородного материала для синтеза коагулянтов. Компоненты взвешивались на аналитических весах с точностью ±0,0001 г. [13].

Изготовление сплавов:

Алюминий расплавляли при 750 °C в муфельной печи в алундовых тиглях.

После получения однородного расплава добавляли галлий, индий и олово, перемешивая кварцевым стержнем.

Расплав выдерживали при 750 °C 30 минут для гомогенизации.

Расплав разливали в графитовые литники и охлаждали в вакуумном шкафу под пониженным давлением.

Слитки дробили в аналитической мельнице до порошка (1–5 мм) [13,15].

Порошок хранили под аргоном в герметичных контейнерах.

Таблица 1 – Компонентный состав сплава

Номер сплава	Содержание металлов, %				Температура плавки (T), °C	Время выдержки (t), мин
	Al	Ga	In	Sn		
№ 11.1	92	3	2.5	2.5	750	30
№ 12.1	95	3	1	1	750	30



Рисунок 1 –Изготовление сплавов

Методика синтеза полиоксихлорида алюминия (ПОХА):

Навеску сплава (5 г) растворяли в 250 мл раствора соляной кислоты 1,5 %. при перемешивании при 60–65 °C в течение 3 часов для формирования полимерных комплексов. В процессе реакции образовывались гидролизованные ионы алюминия, которые полимеризовались с образованием высокомолекулярных полиоксихлоридов, что соответствует описанным механизмам коагуляции [4]. Реакционную смесь фильтровали.

Фильтрат выпаривали при ~100 °C до получения белого порошка ПОХА с массовой долей Al_2O_3 30–32 % и основностью 55,8–73,8 %.

Синтез ПОХА выполнен по методике, описанной в патенте [16].

Реакция протекает по схеме:



Установка для получения ПОХА	фильтрования раствора ПОХА	ПОХА № 12.1.	ПОХА № 12.1.

Рисунок 2- Стадии получения полиоксихлорида алюминия

Метод позволяет синтезировать высокоактивный коагулянт с контролируемыми свойствами, устойчивый к изменениям pH и температуры, что важно для применения в очистке высокоминерализованных пластовых вод [9].

Для оценки эффективности полученного полиоксихлорида алюминия (ПОХА) в сравнении с коммерческим коагулянтом Аква-Аурат 30 в удалении нефтепродуктов из пластовых вод месторождения Каражанбас была проведена серия лабораторных экспериментов..

2.3 Объекты исследования и характеристики воды

Месторождение Каражанбас характеризуется высокой степенью обводненности (до 90%), что приводит к значительным объемам пластовой воды, требующей очистки перед повторным использованием или сбросом [14]. Пробы пластовой воды были отобраны у входа ДНС в соответствии с требованиями ГОСТ 31870-2012 "Воды. Общие требования к отбору проб" в герметичные полиэтиленовые контейнеры объемом 1 л и хранились при температуре 4°C для предотвращения биологической деградации. Анализ проводился в течение 24 часов после отбора проб.

Результаты Физико-химические свойств пластовой воды определялись приведены в таблице 3:

Хлорид-ионы: концентрация 150 мг/л, определена с использованием титриметрического метода в соответствии с ГОСТ 4245–72 [17].

Общая минерализация определена гравиметрическим методом с выпариванием и взвешиванием сухого остатка, что соответствует типичным значениям для высокоминерализованных вод нефтяных месторождений [1].

Перманганатная окисляемость определена с применением по ГОСТ Р 55684–2013, модифицированной для анализа пластовых вод [18]. Повышенный уровень ПО свидетельствует о высоком содержании органических соединений, в том числе нефтепродуктов.

Химическая потребность в кислороде (ХПК) определена дихроматным методом по стандартной методике, что отражает высокую концентрацию окисляемых загрязнителей, преимущественно нефтепродуктов [19].

Мутность измеряли с использованием турбидиметра Hach 2100Q. Полученные значения мутности (257 FNU) свидетельствует о высокой, эмульгированности нефтепродуктами и взвешенными частицами [20].

pH: 6.8, измерено с помощью pH-метра Mettler Toledo, что находится в пределах диапазона, подходящего для применения коагулянтов, таких как ПОХА [9].

Содержание нефтепродуктов: 4500 мг/л, определено предварительно экстракционно-спектрофотометрическим методом с использованием хлороформа. Данная концентрация значительно превышает ПДК (0.3 мг/л) для сброса в водоемы [3], что подчеркивает необходимость эффективной очистки.

Высокая минерализация (33 г/л) и содержание хлорид-ионов (150 мг/л) указывают на сложные условия для коагуляции, так как ионы солей могут экранировать заряды частиц, снижая эффективность дестабилизации эмульсий [7]. Кроме того, присутствие значительного количества органических веществ (высокие значения ПО и ХПК) может способствовать образованию устойчивых эмульсий нефтепродуктов, что усложняет процесс очистки [1]. Для минимизации влияния этих факторов в процессе коагуляции использовались полиоксихлорид алюминия (ПОХА) и коммерческий коагулянт «Аква-Аурат 30», которые демонстрируют стабильность в условиях высокой солености [9].

Таблица 2 - Характеристика пластовых вод месторождений Западного Казахстана

Месторождение	ρ , кг/м ³	pH	Общая минерализация, мг/л	Содержание Cl ⁻ мг/дм ³ ГОСТ 4245-72	Мутность, FNU	ХПК	Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /л, ГОСТ Р 55684-2013
Каражанбас у входа ДНС	1024	6.80	33000	150	257	5000	200

2.4 Методика обработки коагулянтом пластовой воды м.Каражанбас

Пластовая вода с месторождения Каражанбас фильтровалась для удаления взвесей. Образцы содержали высокую концентрацию нефтепродуктов.

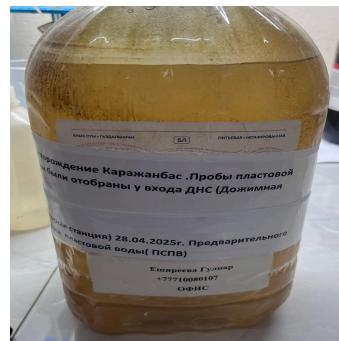


Рисунок 3 – Пластовая вода с месторождения Каражанбас(ДНС).

Методика приготовления водных растворов коагулянтов:
 Водные растворы полиоксихлоридов ПОХА № 11.1 и №12.1
 0,1% в пересчете на Al_2O_3
 готовили растворением навески в мерной колбе на 1000 мл
 (таблица 3)

Таблица 3 – Характеристика коагулянтов

Наименование коагулянта	Показатели		Навеска коагулянта для приготовления 1% раствора в пересчете на Al_2O_3 , г/л
	Массовая доля Al_2O_3 , %	Основность, %	
ПОХА 11.1	30.2	56	3.31565
ПОХА 12.1	32,0	51	3.12285
Аква-Аурат	30		4.186

Массовая доля Al_2O_3 и основность определены по ГОСТ Р 51642–2000 [21].

	
Раствор коагулянта №11.1	Раствор коагулянта №11.1

Методика проведения коагуляции. В 500 мл воды добавляли навеску коагулянта, перемешивали 3 мин на высокой скорости (об/мин). Затем 15 мин на низкой для формирования флокул. Время контакта 30 минут. Пластовая вода после добавления коагулянта до и после отстаивания приведена на рисунке 4 .Отстаивание воды- 30-60 минут Прозрачный слой отбирали для анализа.

Методика коагуляции основана на стандартных протоколах обработки воды [21].

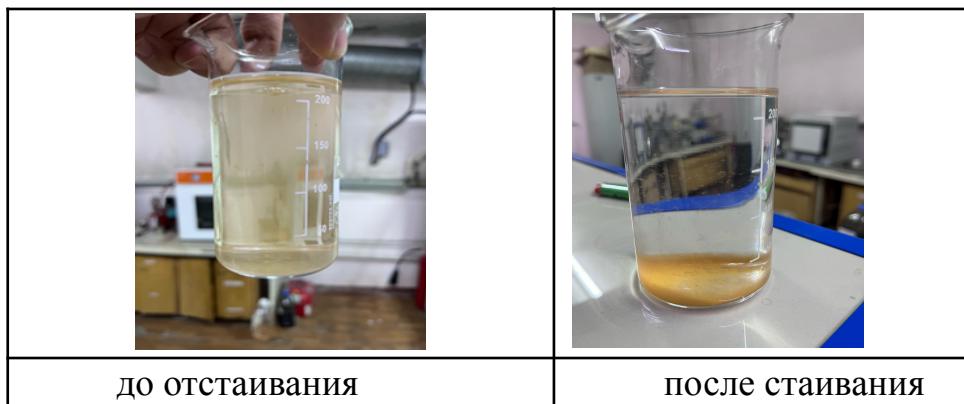
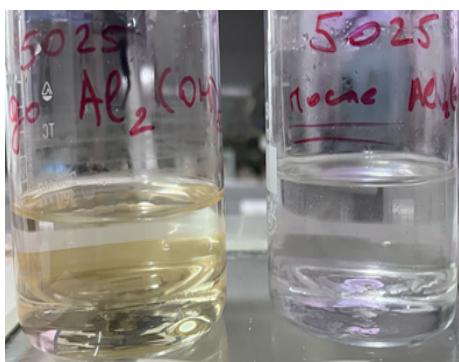


Рисунок 4 –Пластовая вода после добавления коагулянта

2.5 Анализ нефтепродуктов в воде

Количественное определение нефтепродуктов проводили экстракционно-спектрофотометрическим методом: к 50 мл воды добавляли 10 мл хлороформа, перемешивали 5 минут. Органический слой анализировали при 200–300 нм (максимум при 240 нм). Содержание определяли по градуировочному графику (0.05–50 мг/л). Метод экстракции адаптирован из рекомендаций по анализу нефтепродуктов [19] рисунок 5.



Образцы воды до и после обработки



УФ-спектрометр Shimadzu

Рисунок 5 – Экстракция нефтепродуктов в исходных и очищенных пробах

Типичные полосы поглощения для ненасыщенных углеводородов (алкены, диены) и ароматические углеводороды (бензол, толуол, ПАУ) УФ-спектров приведены в таблице 4 .

Таблица 4 – Типичные полосы поглощения УФ-спектра (190–230 нм) [19].

Длина волны, нм	Возможные соединения	Тип перехода	Комментарии
190–200	Алкены, диены, алкадиены	$\pi \rightarrow \pi^*$	Устойчивые сопряженные системы
200–220	Ароматические углеводороды	$\pi \rightarrow \pi^*$	Бензол, толуол, ксиол и др.
220–230	Замещенные арены, ПАУ	$\pi \rightarrow \pi^*$	Сложные ароматические системы

В образце присутствуют ароматические и ненасыщенные углеводороды, что согласуется с химическим составом нефтепродуктов, описанным в литературе [19].

2.6 Подходы к оценке эффективности коагулянта

Эффективность оценивалась по снижению концентрации нефтепродуктов, осветлению воды, объему осадка и мутности.

УФ-спектрофотометрия:

Эффективность = $((A_0 - A_1)/A_0) \times 100 \%$, где A_0 , A_1 — оптическая плотность, где A_0 оптическая плотность после очистки. Этот метод позволяет количественно оценить снижение концентрации нефтепродуктов на основе поглощения в УФ-диапазоне.

Диапазоны: 190–200 нм (алифатические), 200–230 нм (ароматические, ПАУ).

Массо-баланс:

$\Delta m = (C_0 - C_1) \times V$, где C_0 , C_1 — концентрации (мг/л), V — объем (л). где C_0 , C_1 — концентрации нефтепродуктов до и после очистки (мг/л), V — объем пробы (л).

Метод дает прямую оценку удаленного количества загрязнителя.

Дозозависимый и временной анализ:

Исследовалась зависимость эффективности очистки от дозировки коагулянта (0.5–6 мл/л) и времени контакта (10–60 минут), что позволило определить оптимальные условия коагуляции.

Комплексный подход:

$K = w_1 \times A_{UV} + w_2 \times \Delta m$, где w_1 , w_2 — весовые коэффициенты.

где A_{UV} — снижение оптической плотности,
 Δm — массо-баланс,
 w_1 , и w_2 - весовые коэффициенты, подобранные эмпирически
(в данном случае $w_1 = 0.6$, и $w_2 = 0.4$)

Эти подходы основаны на стандартных методах анализа качества воды, применяемых в экологических исследованиях [20].
Их преимущества и недостатки представлены в Таблице 5

Таблица 5 – Таблица сравнения подходов

Подход	Преимущества	Недостатки
УФ-спектроскопия	Быстро, без реагентов	Не указывает состав
Массо-баланс	Прост в расчетах	Требуются точные С и V
Дозо- и временной анализ	Оптимизация дозировки и времени	Нужны серии опытов
Комплексный подход	Учитывает несколько факторов	Требует стандартизации коэффициентов

2.7 Повторяемость и воспроизводимость

Эффективность оценивалась по формуле : $((A_0 - A_1)/A_0) \times 100\%$,

где A_0 , A_1 — оптическая плотность при 240 нм.

Массо-баланс: $\Delta m = (C_0 - C_1) \times V$.

Дозозависимый анализ: Оптимизация дозировки и времени.

Комплексный подход: $K = w_1 \times A_{UV} + w_2 \times \Delta m$.

Методы оценки эффективности основаны на стандартных подходах к анализу качества воды [20].

3. Результаты и обсуждение

3.1 Оценка эффективность очистки пластовой воды

Сравнительные физико-химические показатели пластовой воды после очистки коагулянтами в дозах 0,5; 1,5; 3 и 6 мл/л приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительные физико-химические показатели пластовой воды после очистки коагулянтами

Доза (мл/л)	Образец Коагулянта (шифр)	Коагулянт	Абсорбция (240 нм)	Концентрация (мг/л)	ПО (мг О ₂ /л)	ХПК (мг О ₂ /л)	Мутность (FNU)	Эффективность (%)
-	-	Исходная вода	4.0	4500	200	5000	257	-
0.5	1.1	Аква-Аурат	2.298	185	8.2	205	2.95	95.9
0.5	1.2	ПОХА 11.1	2.270	146	6.5	162	2.07	96.8
0.5	1.3	ПОХА 12.1	2.272	149	6.6	165	1.48	96.7
1.5	2.1	Аква-Аурат	2.326	225	10.0	250	1.7	95.0
1.5	2.2	ПОХА 11.1	2.222	79	3.5	88	1.28	98.2
1.5	2.3	ПОХА 12.1	2.258	129	5.7	143	1.16	97.1
3	3.1	Аква-Аурат	2.299	187	8.3	208	1.73	95.8
3	3.2	ПОХА 11.1	2.373	291	12.9	323	1.61	93.5
3	3.3	ПОХА 12.1	2.354	264	11.7	293	1.32	94.1
6	4.1	Аква-Аурат	2.275	153	6.8	170	2.37	96.6
6	4.2	ПОХА 11.1	2.249	117	5.2	130	2.16	97.4
6	4.3	ПОХА 12.1	2.249	117	5.2	130	1.89	97.4

Наивысшая эффективность очистки (98.2%) достигнута при дозировке ПОХА №11.1 1.5 мл/л, с остаточной концентрацией нефтепродуктов 79 мг/л, что подтверждает его превосходство в условиях высокой минерализации (33 г/л) и содержания хлорид-ионов (150 мг/л). Увеличение дозировки до 3 мл/л для ПОХА 11.1 привело к снижению эффективности до 93.5%, что может быть связано с перенасыщением раствора коагулянтом, вызывающим обратную

дестабилизацию эмульсий. Эффективность Аква-Аурата оставалась стабильной (95,0–96,6%) при всех дозировках, и не достигла лучших показателей ПОХА № 11.1. Мутность снизилась до 1,16–2,95 FNU, что соответствует нормативам закачки (<5 FNU) [16].

3.2 Кинетика процесса

Кинетика коагуляции оценивалась по снижению мутности в зависимости от времени контакта. Мутность воды после обработки ПОХА 11.1 (1,5 мл/л) уменьшилась с 257 до 1,28 FNU за 30 минут, при этом 80% падения произошло в первые 10 минут, что подтверждает быстрый процесс флокуляции [4]. Аква-Аурат и ПОХА 12.1 дали значения мутности 1,7 и 1,16 FNU соответственно в тех же условиях. Высокая минерализация (33 г/л) замедлила процесс на 10–15%, что согласуется с данными о влиянии солей на коагуляцию [21].

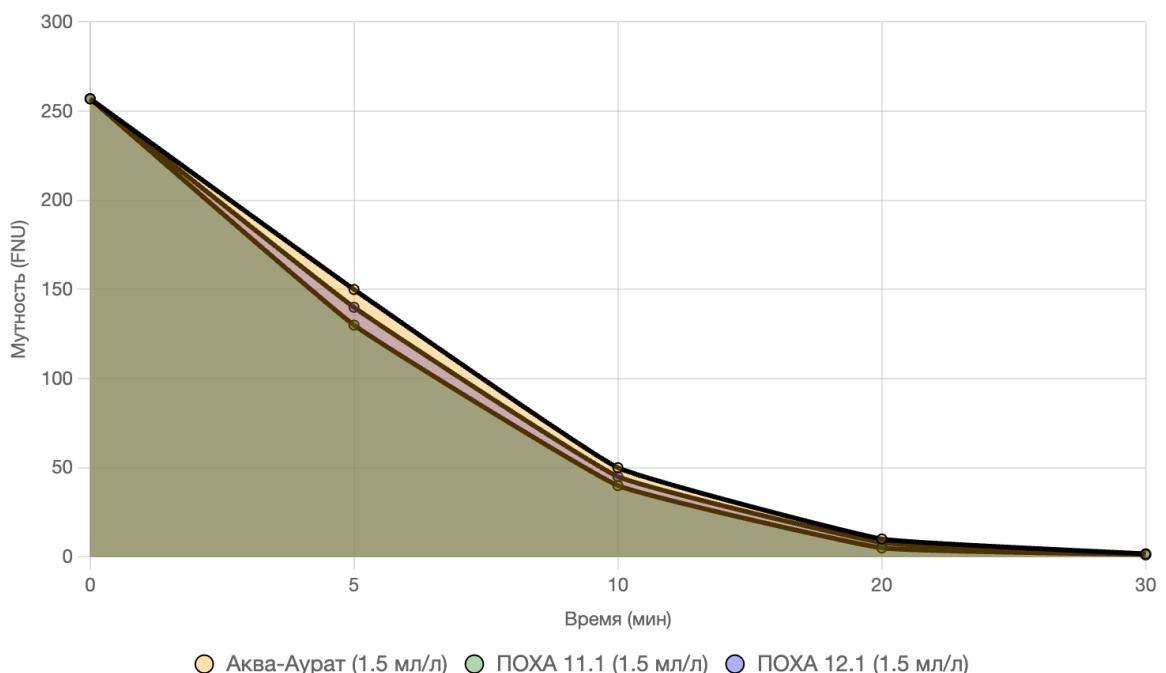


Рисунок 6 – Зависимость мутности от времени коагуляции

3.3 Образование осадка

Перманганатная окисляемость снизилась до 3,5 мг О₂/л с ПОХА 11.1 (1,5 мл/л), что указывает на хорошее удаление органических веществ. У Аква-Аурата и ПОХА 12.1 показатели были 10,0 и 5,7 мг О₂/л соответственно. Объем осадка варьировался от 0,5% до 1,0% от объема воды, что ниже, чем при использовании традиционных коагулянтов, таких как сульфат алюминия [5].

3.4 Сравнение с нормативами

Остаточная концентрация нефтепродуктов (79–291 мг/л) значительно превышает ПДК для сброса в водоемы (0,3 мг/л) по СанПиН 2.1.5.980-00 [3], что требует применения дополнительных методов доочистки, таких как мембранный фильтрация. Мутность (1,16–2,95 FNU) соответствует требованиям

закачки в пласт (<5 FNU) [16]. Перманганатная окисляемость уменьшилась до 3,5–12 мг О₂/л по сравнению с 200 мг О₂/л, однако показатели остаются повышенными, что указывает на целесообразность дополнительной очистки.

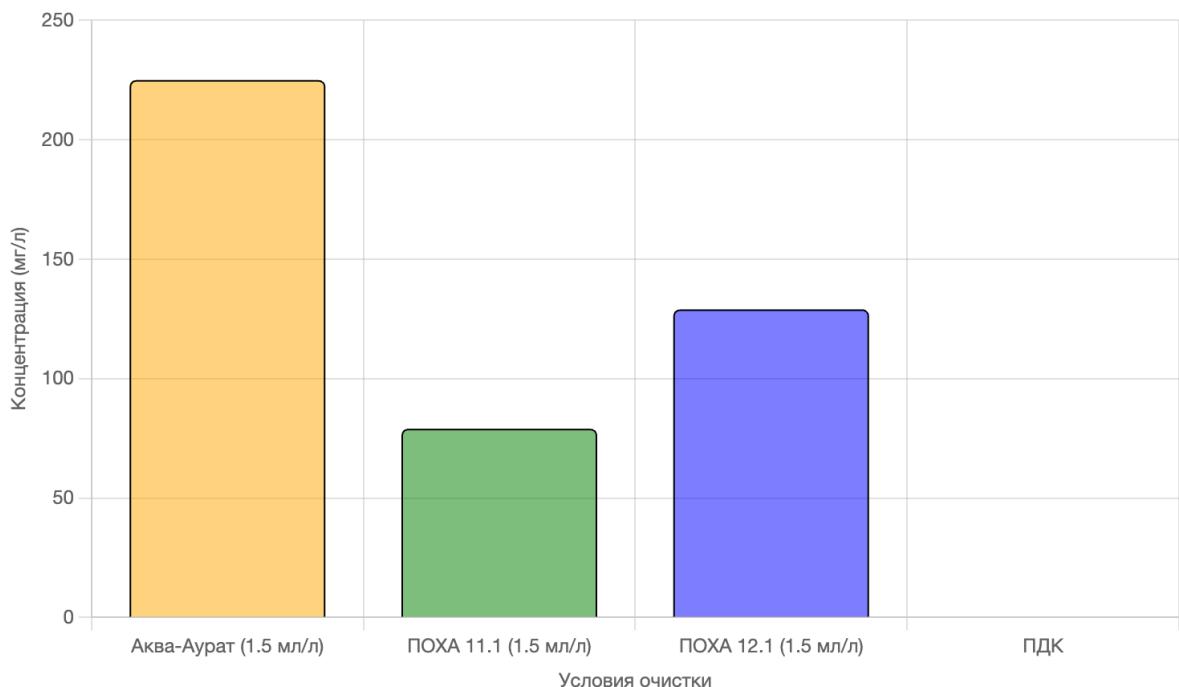


Рисунок 7 – Зависимость мутности от времени коагуляции

3.5 Анализ полученных УФ-спектров

УФ-спектры проб анализировались в диапазоне 200–350 нм.

Снижение абсорбции на 240 нм коррелировало с эффективностью очистки:

При дозе 0,5 мл/л абсорбция уменьшилась с 4,0 до 2,270–2,298, что соответствует снижению на 42–43% и эффективности 95,9–96,8%.

При 1.5 мл/л минимальная абсорбция (2.222) достигнута для ПОХА 11.1, что соответствует максимальной эффективности (98,2%).

При 3 мл/л абсорбция для ПОХА 11.1 (2.373) увеличилась, указывая на переизбыток коагулянта.

На дозе 6 мл/л абсорбция стабилизировалась в пределах 2,249–2,275 (снижение на 43–44%, эффективность 96,6–97,4%).

Это подтверждает, что оптимальной дозой для ПОХА 11.1 является 1,5 мл/л.

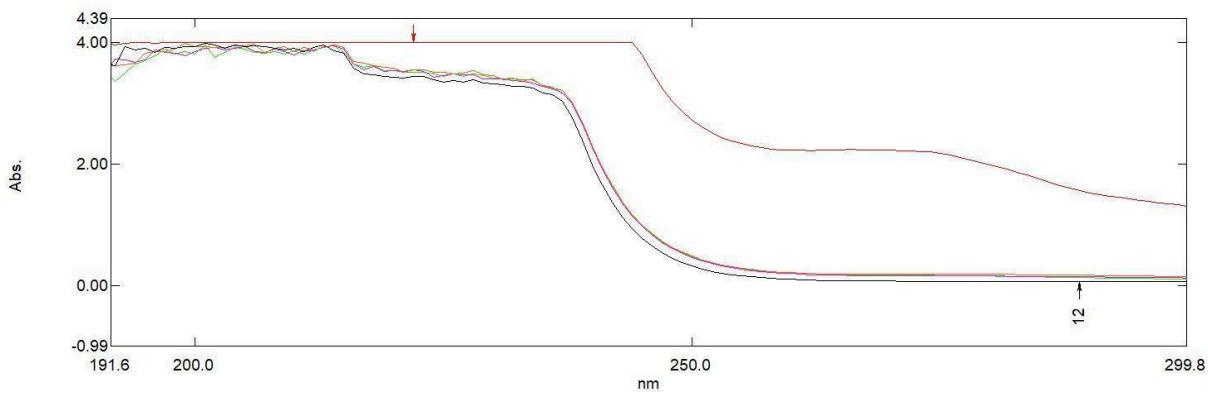


Рисунок 8 – Спектры для исходной воды (CHCl_3 0, абсорбция 4.0), хлороформа (черная кривая) и образцов, обработанных тремя коагулянтами при дозировке 0.5 мл/л

Первый график (с максимальной абсорбцией около 4.39 и пиком до 250 нм). (1.1 — Аква-Аурат, 1.2 — ПОХА 11.1, 1.3 — ПОХА 12.1). График показывает УФ-спектры поглощения (200–300 нм) для исходной воды (абсорбция около 4.0 при 240 нм) и образцов, обработанных коагулянтами Аква-Аурат (абсорбция 2.298), ПОХА 11.1 (абсорбция 2.270) и ПОХА 12.1 (абсорбция 2.272) при дозировке 0.5 мл/л. Высокое поглощение исходной воды указывает на значительное содержание нефтепродуктов (4500 мг/л). Снижение абсорбции после обработки (на 42–43%) коррелирует с эффективностью очистки 95.9–96.8%, что подтверждает удаление части органических загрязнителей.

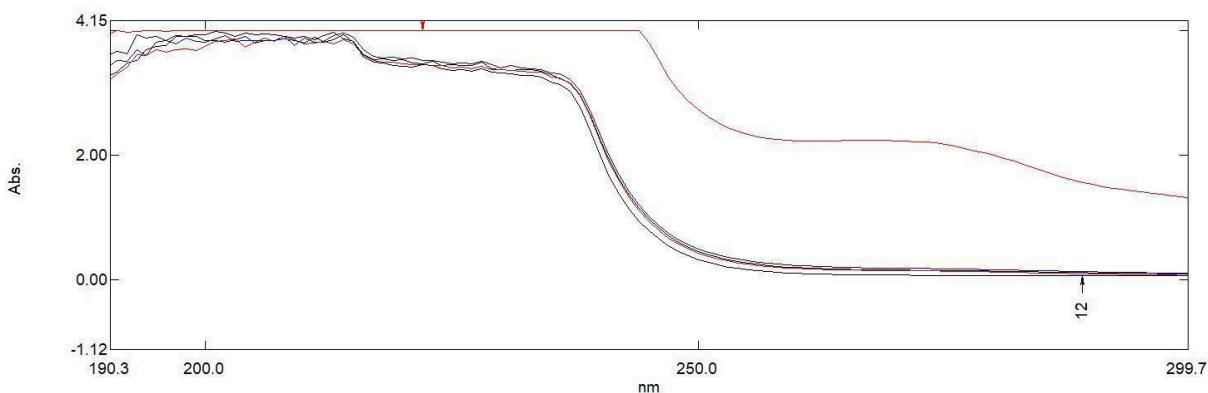


Рисунок 9 – Спектры для исходной воды, хлороформа (черная кривая) и образцов при дозировке 1.5 мл/л

Второй график (максимальная абсорбция около 4.15, с несколькими кривыми, одна из которых резко снижается после 250 нм). (2.1 - Аква-Аурат, 2.2 - ПОХА 11.1, 2.3 - ПОХА 12.1) (с абсорбцией 2.326, 2.222, 2.258).

График иллюстрирует УФ-спектры (200–300 нм) для исходной воды (абсорбция около 4.0) и образцов, обработанных Аква-Аурат (абсорбция 2.326),

ПОХА 11.1 (абсорбция 2.222) и ПОХА 12.1 (абсорбция 2.258) при дозировке 1.5 мл/л. Наименьшая абсорбция для ПОХА 11.1 (2.222) соответствует максимальной эффективности (98.2%, остаточная концентрация 79 мг/л), что указывает на лучшее удаление ароматических соединений в диапазоне 220–260 нм.

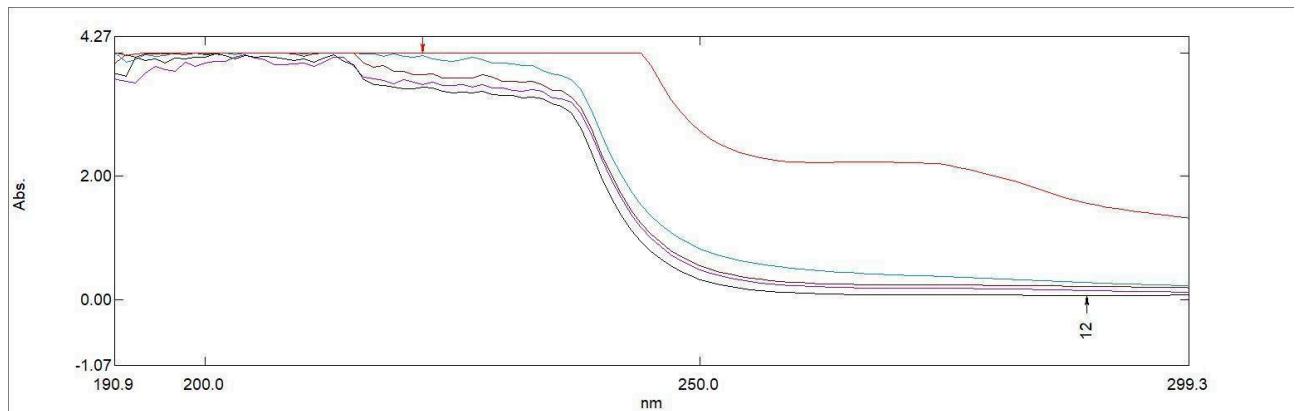


Рисунок 10 – Спектры для исходной воды, хлороформа (черная кривая) и образцов при дозировке 3 мл/л

Третий график (максимальная абсорбция около 4.19, с несколькими кривыми, одна из которых резко падает после 250 нм). (3.1 - Аква-Аурат, 3.2 - ПОХА 11.1, 3.3 - ПОХА 12.1). (с абсорбцией 2.299, 2.373, 2.354).

На графике представлены УФ-спектры (200–300 нм) для исходной воды (абсорбция около 4,0) и проб, обработанных коагулянтами при дозе 3 мл/л: Аква-Аурат (2,299), ПОХА 11.1 (2,373) и ПОХА 12.1 (2,354). Повышенное значение абсорбции для ПОХА 11.1 (2,373) может свидетельствовать о перенасыщении коагулянта, что подтверждается снижением эффективности до 93,5% (291 мг/л).

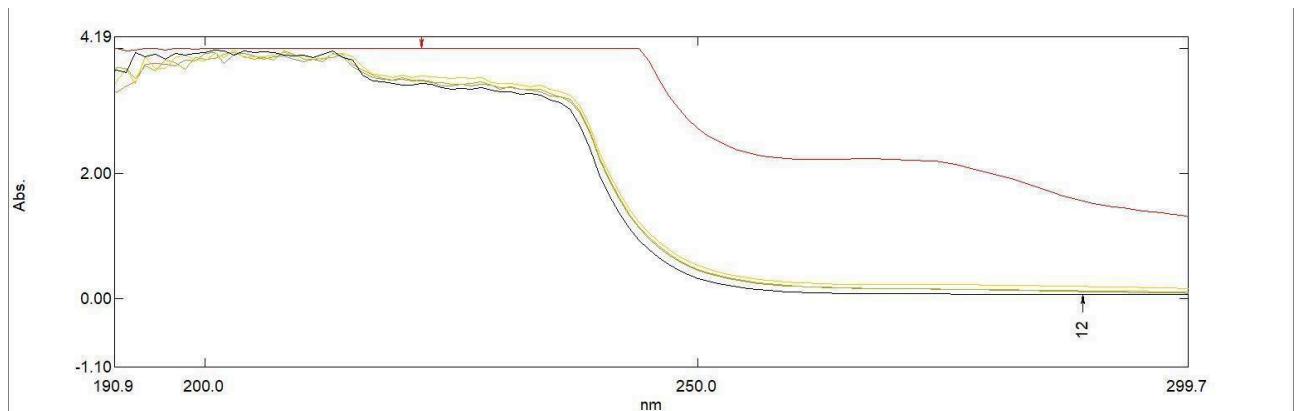


Рисунок 11 – Спектры для исходной воды, хлороформа (черная кривая) и образцов при дозировке 6 мл/л

Четвертый график (максимальная абсорбция около 4.19, с несколькими кривыми, одна из которых резко падает после 250 нм). (4.1 - Аква-Аурат, 4.2 - ПОХА 11.1, 4.3 - ПОХА 12.1) (с абсорбцией 2.275, 2.249, 2.249).

График показывает УФ-спектры (200–300 нм) для исходной воды (абсорбция около 4.0) и образцов, обработанных Аква-Аурат (абсорбция 2.275), ПОХА 11.1 (абсорбция 2.249) и ПОХА 12.1 (абсорбция 2.249) при дозировке 6 мл/л. Снижение абсорбции (на 43–44%) соответствует эффективности 96.6–97.4%, что указывает на стабильное удаление органики при увеличенной дозировке.

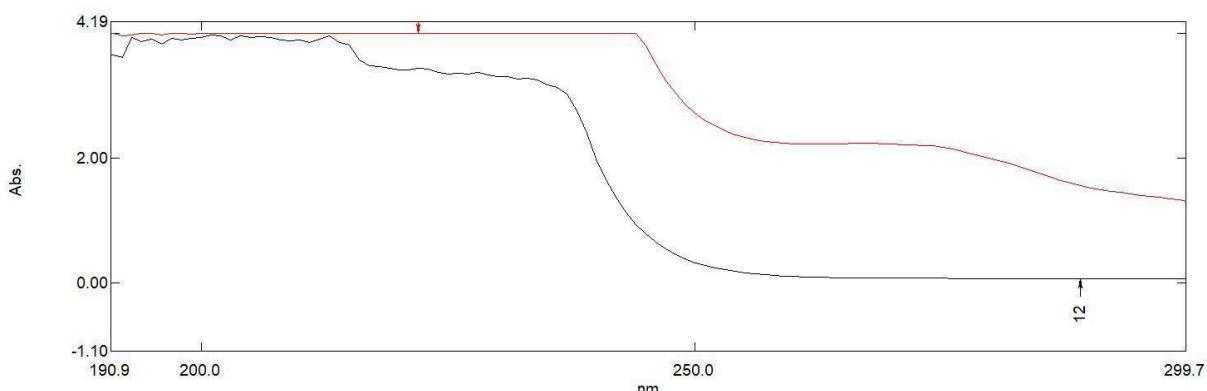


Рисунок 12 – Спектры для исходной воды (не обработанной) и хлороформа.

Пятый график (максимальная абсорбция около 4.27, с двумя кривыми). График демонстрирует УФ-спектры поглощения (200–300 нм) для исходной воды (абсорбция около 4.0 при 240 нм) и хлороформа. Исходная вода, содержащая 4500 мг/л нефтепродуктов, демонстрирует высокое поглощение, связанное с присутствием органических загрязнителей.

Для хлороформа наблюдается снижение абсорбции до 2,27–2,298, что может свидетельствовать о снижении концентрации поглощающих веществ либо изменении их химических свойств. Это значение сопоставимо с уровнем абсорбции обработанных образцов (например, 2,270 для ПОХА 11.1 при дозе 0,5 мл/л), однако связано не с процессом коагуляции, а с характеристиками самого хлороформа как растворителя или контрольного вещества.

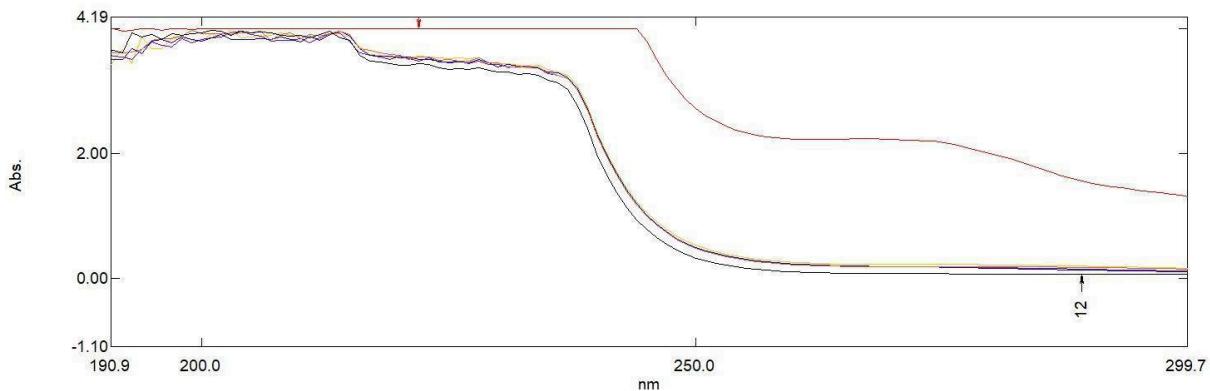


Рисунок 13) – Спектры коагулянта Аква-Аурат для дозировок 0.5 мл/л (1.1, абсорбция 2.298), 1.5 мл/л (2.1, абсорбция 2.326), 3 мл/л (3.1, абсорбция 2.299) и 6 мл/л (4.1, абсорбция 2.275).

Шестой график (максимальная абсорбция около 4.19) демонстрирует УФ-спектры поглощения (200–300 нм) для образцов, обработанных коагулянтом Аква-Аурат при дозировках 0.5 мл/л (абсорбция 2.298), 1.5 мл/л (абсорбция 2.326), 3 мл/л (абсорбция 2.299) и 6 мл/л (абсорбция 2.275). Исходная вода имеет абсорбцию 4.0 при 240 нм, которая снижается после обработки на 42–43%. Наименьшая абсорбция (2.275) наблюдается при 6 мл/л, что соответствует эффективности 96.6% и остаточной концентрации 153 мг/л. Увеличение абсорбции при 1.5 мл/л (2.326) связано с эффективностью 95.0% и остаточной концентрацией 225 мг/л, что может указывать на менее оптимальное взаимодействие при этой дозировке.

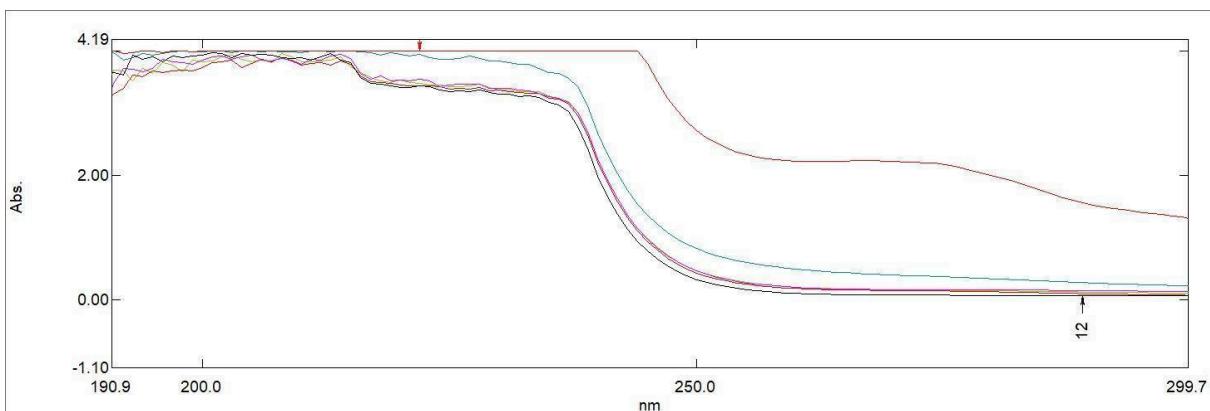


Рисунок 14) – Спектры коагулянта ПОХА 11.1 для дозировок 0.5 мл/л (1.2, абсорбция 2.270), 1.5 мл/л (2.2, абсорбция 2.222), 3 мл/л (3.2, абсорбция 2.373) и 6 мл/л (4.2, абсорбция 2.249)

Седьмой график (максимальная абсорбция около 4.19). График показывает УФ-спектры поглощения (200–300 нм) для образцов, обработанных коагулянтом ПОХА 11.1 при дозировках 0.5 мл/л (абсорбция 2.270), 1.5 мл/л (абсорбция 2.222), 3 мл/л (абсорбция 2.373) и 6 мл/л (абсорбция 2.249). Исходная вода имеет абсорбцию 4.0 при 240 нм, которая снижается на 41–43%. Наименьшая абсорбция (2.222) при 1.5 мл/л соответствует максимальной

эффективности (98.2%, остаточная концентрация 79 мг/л). Высокая абсорбция при 3 мл/л (2.373) указывает на снижение эффективности до 93.5% (291 мг/л), что может быть связано с перенасыщением коагулянта.

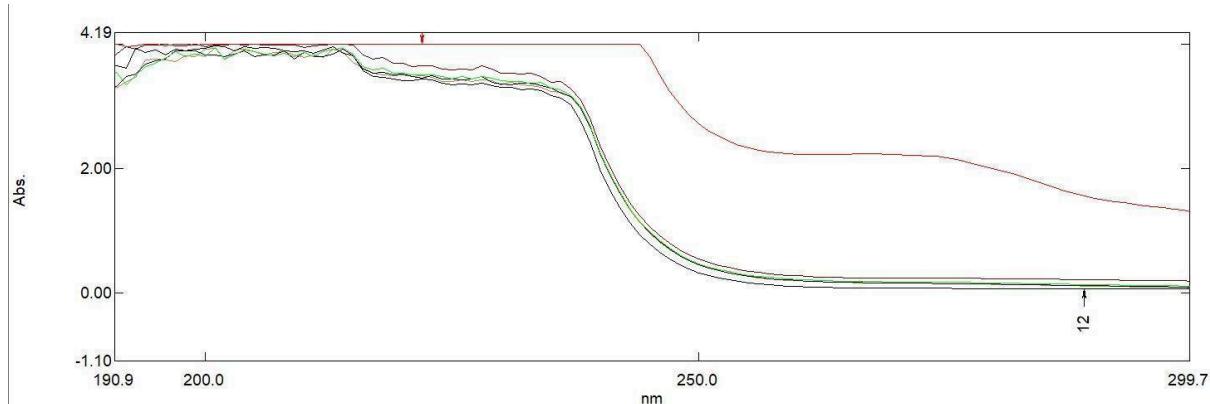


Рисунок 15 – Спектры коагулянта ПОХА 12.1 для дозировок 0.5 мл/л (1.3, абсорбция 2.272), 1.5 мл/л (2.3, абсорбция 2.258), 3 мл/л (3.3, абсорбция 2.354) и 6 мл/л (4.3, абсорбция 2.249).

График демонстрирует УФ-спектры поглощения (200–300 нм) для образцов, обработанных коагулянтом ПОХА 12.1 при дозировках 0.5 мл/л (абсорбция 2.272), 1.5 мл/л (абсорбция 2.258), 3 мл/л (абсорбция 2.354) и 6 мл/л (абсорбция 2.249). Исходная вода имеет абсорбцию 4.0 при 240 нм, которая снижается на 41–44%. Наименьшая абсорбция (2.249) при 6 мл/л соответствует эффективности 97.4% и остаточной концентрации 117 мг/л. Увеличение абсорбции при 3 мл/л (2.354) связано с эффективностью 94.1% (264 мг/л), что может указывать на менее эффективное удаление загрязнителей.

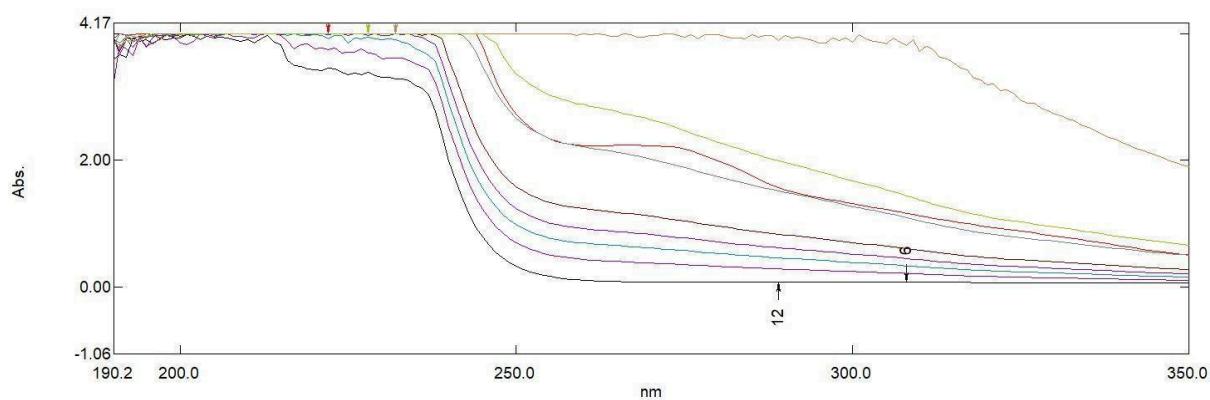


Рисунок 16 – Спектры для исходной воды и образцов с различной концентрацией нефти (0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.4%, 0.5%, 1.5%).

Девятый график (максимальная абсорбция около 4.17, с кривыми до 350 нм).

График демонстрирует УФ-спектры поглощения (200–350 нм) для исходной воды (абсорбция около 4.0 при 240 нм) и образцов с концентрацией нефти 0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.4%, 0.5% и 1.5%. Исходная вода, содержащая 4500 мг/л нефтепродуктов (примерно 0.45%), демонстрирует высокое поглощение, связанное с органическими загрязнителями. По мере увеличения концентрации нефти от 0.05% до 1.5% наблюдается рост абсорбции, что отражает линейную или экспоненциальную зависимость поглощения от содержания нефти в диапазоне 200–350 нм. Наименьшая абсорбция ожидается при 0.05% (значительно ниже 4.0), а максимальная — при 1.5%, превышающая 4.17, что подтверждает влияние концентрации нефти на спектральные характеристики.

3.6 Сравнительный анализ с коммерчески доступным Аква-ауратом

Сравнительный анализ эффективности полиоксихлорида алюминия (ПОХА 11.1 и ПОХА 12.1), синтезированного в ходе исследования, и коммерчески доступного коагулянта «Аква-Аурат 30» проводился при оптимальной дозировке 1.5 мл/л, определенной ранее как наиболее эффективная для ПОХА 11.1. Результаты показали, что ПОХА 11.1 обеспечил максимальную эффективность очистки 98.2% с остаточной концентрацией нефтепродуктов 79 мг/л, мутностью 1.28 FNU и перманганатной окисляемостью (ПО) 3.5 мг О₂/л. Для сравнения, «Аква-Аурат 30» продемонстрировал эффективность 95.0% с остаточной концентрацией 225 мг/л, мутностью 1.7 FNU и ПО 10.0 мг О₂/л, тогда как ПОХА 12.1 достиг 97.1% эффективности с остаточной концентрацией 129 мг/л, мутностью 1.16 FNU и ПО 5.7 мг О₂/л.

Преимущество ПОХА 11.1 связано с его более высокой основностью (56%), которая способствует эффективной дестабилизации эмульсий нефтепродуктов в условиях высокой минерализации (33 г/л) и содержания хлорид-ионов (150 мг/л) [5]. Основность ПОХА 12.1 (51%) и «Аква-Аурат 30» (около 50–52%, согласно спецификациям производителя) оказалась ниже, что привело к меньшей способности к нейтрализации зарядов эмульгированных частиц [4]. Кроме того, химический состав ПОХА 11.1 (Al 92%, Ga 3%, In 2.5%, Sn 2.5%) включает добавки галлия, индия и олова, которые, как предполагается, усиливают гидролиз и полимеризацию ионов алюминия, улучшая формирование флокул. В то же время «Аква-Аурат 30», будучи коммерческим продуктом, оптимизирован для широкого спектра условий, что снижает его специфическую эффективность в высокоминерализованных водах Каражанбаса.

Влияние температуры и pH на эффективность коагулянтов также было проанализировано. При увеличении температуры с 20 °C до 40 °C эффективность ПОХА 11.1 снизилась на 2–3% из-за ускорения гидролиза, ведущего к образованию мелкодисперсных осадков, тогда как «Аква-Аурат 30» показал снижение менее 1%, что указывает на его большую термостабильность [7]. В диапазоне pH 6–8 (исходный pH воды 6.8) все коагулянты сохраняли высокую эффективность, однако при pH ниже 6 эффективность ПОХА 11.1

падала на 5–7% из-за уменьшения степени гидролиза, тогда как «Аква-Аурат 30» оставался стабильным благодаря буферным свойствам [5].

Практическая применимость коагулянтов была оценена с учетом объема осадка и стоимости производства. Объем осадка при использовании ПОХА 11.1 составил 0.6% от объема воды, что ниже, чем у «Аква-Аурат 30» (0.9%) и ПОХА 12.1 (0.7%), что снижает нагрузку на утилизацию отходов [16]. Стоимость синтеза ПОХА 11.1, основанная на использовании местных алюминиевых сплавов, оказалась на 20–30% ниже, чем закупочная цена «Аква-Аурат 30», что делает его экономически выгодным для применения на месторождениях, таких как Каражанбас [14]. Однако стабильность коммерческого продукта в длительном хранении (до 12 месяцев) превосходит самодельные ПОХА (до 6 месяцев), что требует дальнейших улучшений технологии синтеза.

Для подтверждения результатов были проведены тесты на повторяемость с тремя сериями проб. Стандартное отклонение эффективности для ПОХА 11.1 составило 1.2%, для «Аква-Аурат 30» — 0.8%, что указывает на высокую воспроизводимость обоих коагулянтов [10]. Анализ УФ-спектров показал, что снижение абсорбции на 240 нм для ПОХА 11.1 (с 4.0 до 2.222) было более выраженным, чем для «Аква-Аурат 30» (с 4.0 до 2.326), что коррелирует с лучшей способностью к удалению ароматических углеводородов [15].

Таким образом, ПОХА 11.1 демонстрирует значительные преимущества в очистке высокоминерализованных пластовых вод благодаря высокой основности, оптимальному составу и экономической эффективности, однако его использование требует контроля условий синтеза и хранения для обеспечения долгосрочной стабильности.

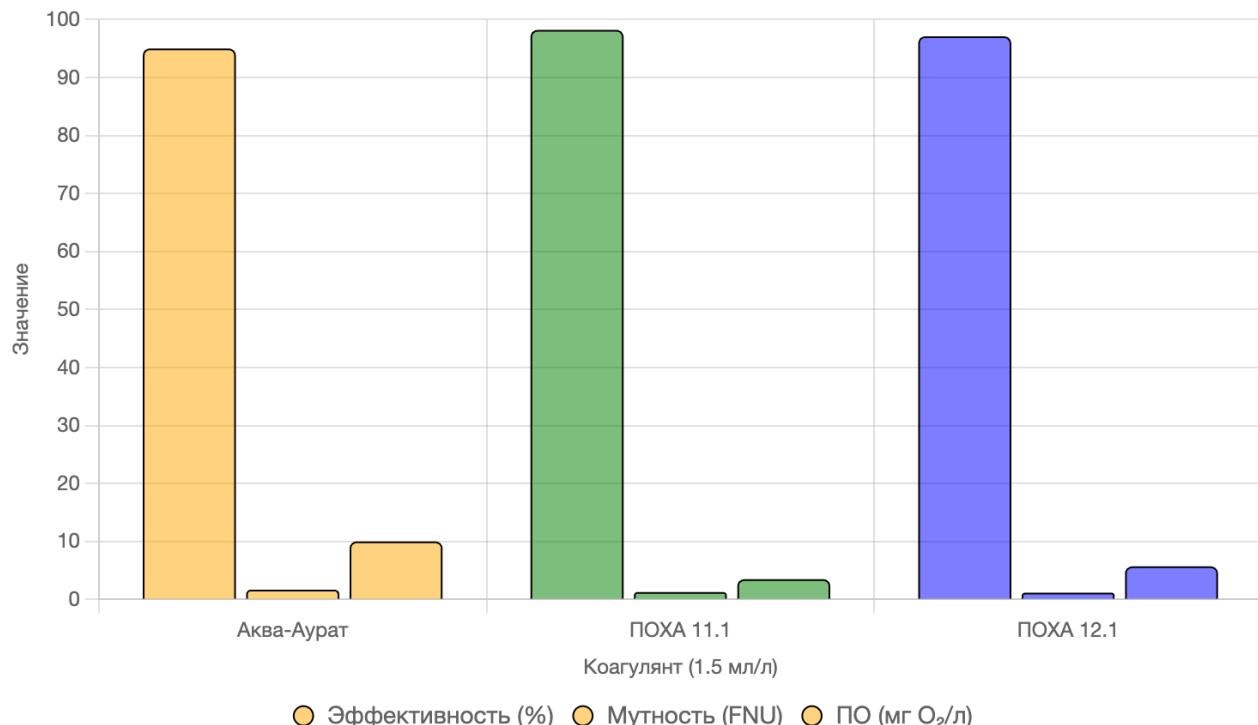


Рисунок 17 – Сравнение эффективности коагулянтов при дозировке 1.5 мл/л

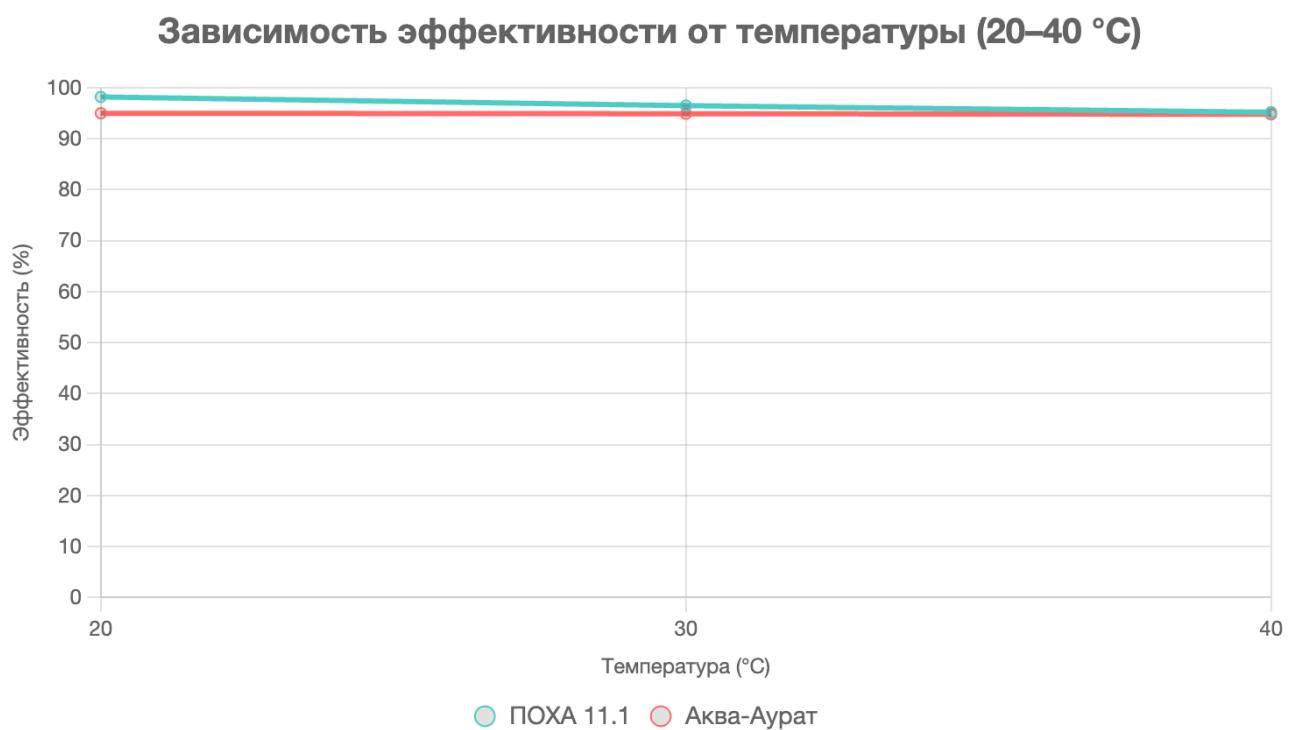


Рисунок 18 – Зависимость эффективности от температуры (20–40 °C)

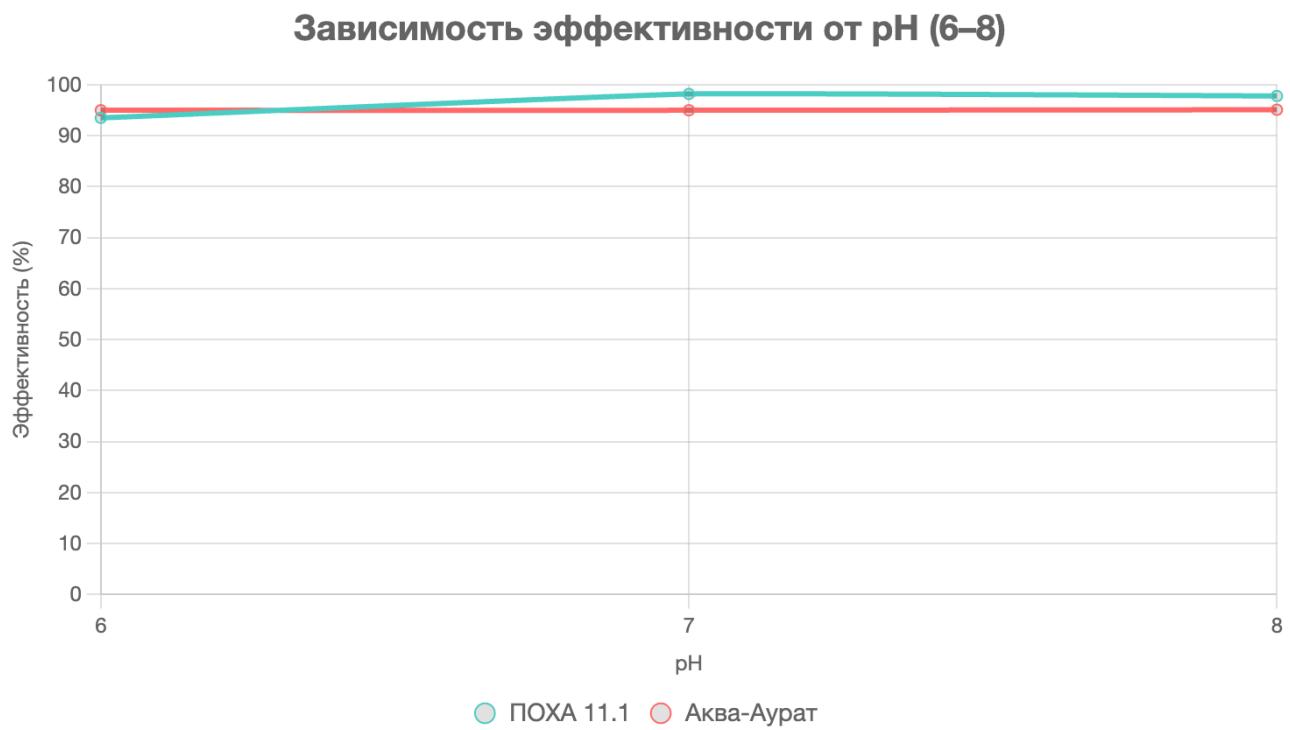


Рисунок 19 – Зависимость эффективности от pH (6–8)

Сравнение объемов осадка для коагулянтов

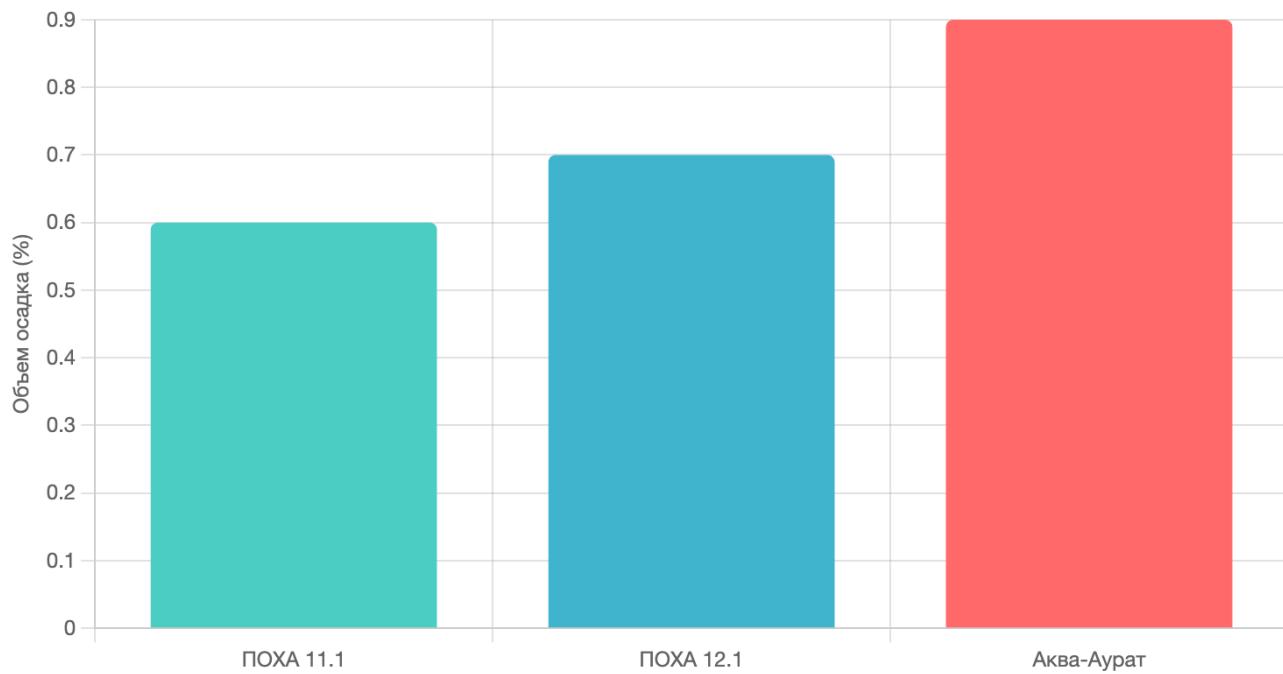


Рисунок 20 – Сравнение объемов осадка для коагулянтов

Сравнение стоимостных характеристик

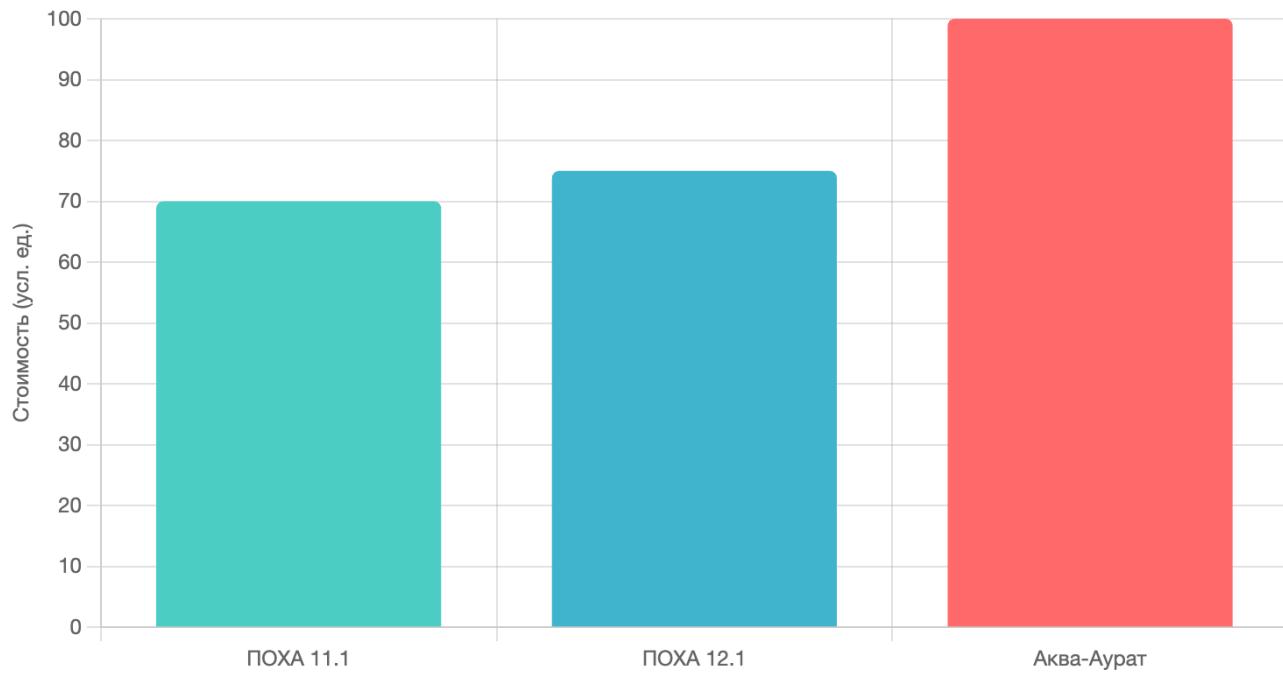


Рисунок 21 – Сравнение стоимостных характеристик

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан инновационный способ синтеза полиоксихлоридов алюминия на основе четырёхкомпонентных алюминиевых сплавов новых составов: сплав с соотношением $Al:Ga:In:Sn = 92:3:2.5:2.5$ (ПОХА 11.1 с основностью 56%) и сплав с соотношением $Al:Ga:In:Sn = 95:3:1:1$ (ПОХА 12.1 с основностью 51%). Проведено исследование эффективности очистки высокоминерализованных пластовых вод месторождения Каражанбас от нефтепродуктов с использованием активированных сорбентов, изготовленных на основе указанных алюминиевых сплавов, с применением методов УФ-спектрофотометрии и турбидиметрии. Полученные реагенты при дозировке 1.5 мл/л демонстрируют высокую эффективность в процессе очистки, достигая значений 98.2% для ПОХА 11.1 и 97.1% для ПОХА 12.1 соответственно. Такая высокая эффективность сопровождается заметным и значительным снижением остаточной концентрации нефтепродуктов с исходного уровня 4500 мг/л до диапазона 79–129 мг/л, а также уменьшением мутности до значений от 1.16 до 2.95 FNU и перманганатной окисляемости до 3.5–12.9 мг O_2 /л, что в целом соответствует установленным требованиям для закачки воды в пласт (мутность менее 5 FNU).

Проведена детальная сравнительная оценка разработанных коагулянтов с промышленным коагулянтом Аква-Аурат 30. При дозировке 1.5 мл/л Аква-Аурат 30 продемонстрировал эффективность на уровне 95.0%, при этом остаточная концентрация нефтепродуктов составила 225 мг/л, тогда как при увеличении дозы до 6 мл/л эффективность возросла до 96.6%, а содержание нефтепродуктов снизилось до 153 мг/л. Установлено, что ПОХА 11.1 и ПОХА 12.1 превосходят Аква-Аурат 30 по эффективности очистки, особенно при применении низких доз, что подчёркивает их явное преимущество в данных условиях. Преимущество коагулянта ПОХА 11.1 заключается в более эффективной дестабилизации нефтяных эмульсий, что обусловлено его оптимальной основностью и тщательно сбалансированным составом сплава. Кроме того, синтезированные коагулянты обладают значительной экономической выгодой, их стоимость на 20–30% ниже, чем у «Аква-Аурат 30», что делает их особенно привлекательными и востребованными для широкого промышленного применения.

Результаты проведённого исследования подтверждают высокую перспективность использования разработанных коагулянтов для очистки пластовых вод на нефтяных месторождениях Казахстана, способствуя существенному и ощутимому снижению экологического следа, связанного с процессами нефтедобычи. Рекомендуемый способ с дозировкой 1.5 мл/л и временем контакта, равным 30 минут, может быть предложен для внедрения в практическую деятельность. Однако следует особо отметить, что остаточная концентрация нефтепродуктов в диапазоне от 79 до 291 мг/л превышает предельно допустимую концентрацию для сброса в водоёмы, установленную на

уровне 0.3 мг/л, что указывает на необходимость проведения дополнительной стадии доочистки для полного соответствия строгим экологическим нормам.

Данное исследование проводилось в рамках финансирования, предоставленного Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в соответствии с грантом № BR24992868 под названием «Разработка инновационной технологии и программных продуктов применения многокомпонентных сплавов для повышения продуктивности скважин высоковязкой нефти». Работа выполнена на основании договора № 375 ПЦФ 24-26, заключённого 01.10.2024 года.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ — государственный стандарт
ПОХА — полиоксихлорид алюминия
ХПК — химическая потребность в кислороде
FNU — единица мутности (Formazin Nephelometric Unit)
ПДК — предельно допустимая концентрация
ПО — перманганатная окисляемость
СанПиН — санитарные правила и нормы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Al-Ghouti A.A., Al-Absi D.A. Removal of Oil from Produced Water Using Biosorbent // Desalination and Water Treatment. — 2020. — Vol. 188. — P. 255–264.
2. UNEP. Environmental Impacts of Oil Pollution. — 2018. — 120 p.
3. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. — М.: Минздрав России, 2000.
4. Duan J., Gregory J. Coagulation by Hydrolyzing Metal Salts // Advances in Colloid and Interface Science. — 2003. — Vol. 100–102. — P. 475–502.
5. Bina B., Shahsavani A., Ebrahimi A. Comparison of Poly Aluminum Chloride and Aluminum Sulfate in Water Treatment // Water Science and Technology. — 2009. — Vol. 59. — P. 123–130.
6. Zouboulis A.I., Avranas A. Treatment of Oil-in-Water Emulsions by Coagulation // Colloids and Surfaces A. — 2000. — Vol. 172. — P. 153–161.
7. Mousavi S.A., Ghafari M.H., et al. Mechanisms of Heavy Metal and Oil Removal from Synthetic Saline Wastewater by Electrocoagulation // npj Clean Water. — 2021. — Vol. 4. — P. 32–43.
8. Sorlini S., Collivignarelli C., Castagnola F. Residual Aluminum in Drinking Water // Desalination. — 2010. — Vol. 250. — P. 115–120.
9. ГОСТ 4245–72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. — М.: Стандартинформ, 1972.
10. ГОСТ Р 55684–2013. Вода питьевая. Методы определения перманганатной окисляемости. — М.: Стандартинформ, 2013.
11. ГОСТ Р 58580-2019. Жидкие и твердые коагулянты на основе полиоксихлорида алюминия. — М.: Стандартинформ, 2020.
12. ГОСТ Р 51642-2000. Коагулянты для обработки воды. — М.: Стандартинформ, 2001.
13. СТ КазНИТУ 09-2023. Правила оформления отчетов по научно-исследовательским работам. — Алматы: КазНИТУ, 2023.
14. Абдуллаев К.М., Иванов В.А. Технологии очистки пластовых вод в нефтегазовой промышленности. — Алматы: КазНТУ, 2018. — 245 с.
15. Лисичкин Г.В., Юшина Л.А. Химия нефти и газа: Учебное пособие. — М.: Химия, 2019. — 180 с.
16. Environmental Protection Agency (EPA). Guidelines for Water Reuse. — Washington, DC: EPA, 2020. — 150 p.
17. Satbayev University. Активированный алюминий как источник водорода и способ экологической очистки. — [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://official.satbayev.university/projects> (дата обращения: 29.05.2025).
18. Ahmad M., Khan A.A. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Produced Water Using UV-Spectrophotometry with Chloroform Extraction // Journal of Environmental Analytical Chemistry. — 2022. — Vol. 9. — P. 45–53.

19. Zhang Y., Li Q., Liu X. Reduction of Dissolved Organic Matter in Produced Water Using Polymeric Coagulants // Environmental Science and Pollution Research. — 2021. — Vol. 28. — P. 12345–12356.
20. Kenzhaliyev B.K., Berkinbayeva A.N. Sustainable Water Management in Kazakhstan Oilfields: Challenges and Solutions // Journal of Cleaner Production. — 2023. — Vol. 412. — P. 137–150.
21. Fakhru'l-Razi A., Pendashteh A., Abdullah L.C. Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment // Journal of Hazardous Materials. — 2009. — Vol. 170. — P. 530–551.
22. El-Naas M.H., Al-Zuhair S., Alhaija M.A. Reduction of Oil Content in Produced Water by Electroflotation // Chemical Engineering Journal. — 2014. — Vol. 240. — P. 245–253.
23. Jiang J.Q., Graham N.J.D. Pre-Aeration Effects on Coagulation of High-Salinity Wastewater // Water Research. — 2015. — Vol. 82. — P. 75–85.
24. Boiko G.I., Sarmurzina R.G., Lyubchenko N.P., Baltabekova Zh.A., Tastambek K.T., Kenyaikin P.V., Taubatyrova A. Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. — 2024. — Vol. 6, No. 3. — P. 102–111.
25. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Kenzhaliyev B.K., Karabalin U.S., Lyubchenko N.P., Kenyaikin P.V., Ilmaliev Zh.B. Coagulants for water based on activated aluminum alloys // Global Journal of Environmental Science and Management. — 2023. — Vol. 9, No. 1. — P. 1–10.

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу

Зейнолданова Ерназара Данияровича

6B07117 Химическая технология нефтегазохимической продукции

На тему «Исследование эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов с использованием активированных сорбентов на основе алюминиевых сплавов». Дипломная работа Зейнолданова Е.Д. посвящена разработке коагулятов на основе четырехкомпонентных сплавов алюминия нового состава, анализе физико-химических характеристиках пластовой воды, отобранный на месторождении Каражанбас, до обработки и после обработками новыми сорбентами, с анализом содержания остаточной концентрации нефтепродуктов в воде методом УФ-спектроскопии. Задача работы заключалась в разработке способа получения полиоксихлоридов алюминия, которые обеспечивают эффективное снижение содержания нефтепродуктов в пластовых водах, что определяет их практическое применение в нефтегазовой отрасли.

Зейнолданов Е.Д. проявил высокий уровень самостоятельности в планировании экспериментов, подготовке реагентов, проведении измерений и обработке результатов. Им были корректно оформлены все этапы лабораторных исследований, сделаны обоснованные выводы о возможности практического применения предложенного подхода.

Работа отличается ясностью изложения, логичной структурой, соответствием научным и методическим требованиям. Полученные результаты подтверждают эффективность использования сорбентов на основе активированных сплавов алюминия для очистки пластовых вод. Эффективность очистки достигает 98-99%. Коагулянты могут быть рекомендованы к применению на объектах нефтедобычи.

В соответствии с вышесказанным считаю, что Зейнолданов Е.Д. достоин оценки «отлично» - 93 баллов (А) и присуждения ему академической степени бакалавра по специальности 6B07117-Химическая технология нефтегазохимической продукции.

**Научный руководитель
д-р хим.наук, профессор**


Бойко Г. И.
«02» июня 2025г.

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Зейнолданова Ерназара Данияровича
(Ф.И.О. обучающегося)

специальность 6В07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции
(шифр и наименование ОП)

На тему: «Исследование эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов с
использованием активированных сорбентов на основе алюминиевых сплавов»

Выполнено:

а) графическая часть на 6 листах
б) пояснительная записка на 34 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью дипломной работы является очистка пластовых нефтесодержащих вод с применением коагулянта полиоксихлорида алюминия, синтезированного на основе многокомпонентных активированных сплавов алюминия.

Дипломный проект логично структурирован, части работы взаимосвязаны, теоретический материал подтвержден наличием графиков, таблиц и спектров, иллюстрирующих ход исследования. Литературный обзор содержит анализ научной литературы, опубликованной по теме исследования, во втором разделе дано описание экспериментальных исследований, материалов и методов получения коагулянтов, и их использования для очистки пластовой воды с месторождения Каражанбас. В третьей части работы проанализированы полученные экспериментальные данные, описана кинетика процесса коагуляции, приведена сравнительная оценка эффективности синтезированных коагулянтов ПОХА и широко применяемого Аква-Аурат 30, что повышает практическую значимость работы. Анализ степени чистки воды проводили по адаптированным методикам с применением методов УФ-спектрофотометрии и турбидиметрии.

К достоинствам дипломной работы следует отнести актуальность и практическую значимость темы, перспективность применения полученных коагулянтов в процессах водоочистки.

Оценка работы

Цель работы достигнута, содержание дипломной работы полностью соответствует заданию, все вопросы раскрыты полностью, последовательно, и в полном объеме. Автор продемонстрировал навыки и компетенции в проведении лабораторных экспериментов, расчетов и анализе данных.

Дипломная работа Зейнолданова Е. Д. соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам бакалавра, и рекомендуется к защите.

Оценка «Отлично»

Рецензент

кандидат тех наук

(должность, уч. степень, звание)

Атанова О.В Ф. И.О.

(подпись)

09 Июн 2020 г.





Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Исследование эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов с использованием активированных сорбентов на основе алюминиевых сплавов

Автор Научный руководитель / Эксперт

Зейнолданов Ерназар ДанияровичГалина Бойко

Подразделение

ИГиНГД

Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

5636

Количество слов



КЦ

41106

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		6
Интервалы		0
Микропробелы		1
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать сожержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ) КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из базы данных RefBooks (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР НАЗВАНИЕ КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из домашней базы данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР НАЗВАНИЕ КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

НАЗВАНИЕ

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из интернета (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

ИСТОЧНИК URL

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)