

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

Пулатов Еркебұлан Серікұлы

Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе
активированных сплавов алюминия

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

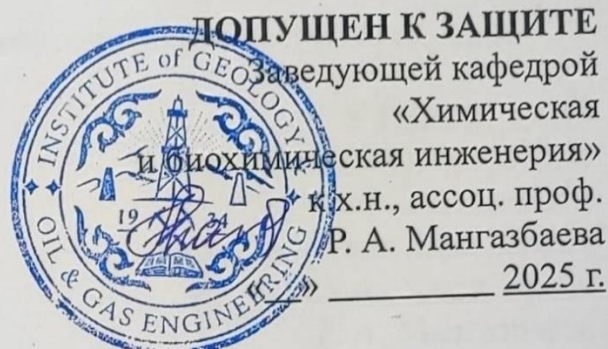
Алматы 2025

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: «Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе
активированных сплавов алюминия»

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Выполнил

Рецензент

к.т.н., с.н.с.

Атанова О. В.

«09» 06 2025 г.

Пулатов Е. С.

Научный руководитель

д.х.н., профессор

Бойко Г. И.

«09» 06 2025 г.

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

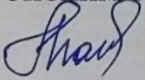
6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Химическая и

биохимическая инженерия»

 к.х.н., ассоц. проф.

Р. А. Мангазбаева

«__» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Пулатов Еркебұлан Серікұлы

Тема: Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия

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

Срок сдачи законченной работы «08» 08 2025

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

- а) полиоксихлорид алюминия как перспективный коагулянт
- б) методика изготовления четырехкомпонентного сплава на основе легких и рассеянных металлов
- в) синтез полиоксихлорида алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов

Перечень графического материала: представлены 18 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 36 наименований.

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	10.01.2025	выполнено
Экспериментальная часть	30.03.2025	выполнено
Результаты и выводы	15.05.2025	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	7.03.25	Г. И. Бойко
Экспериментальная часть	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	25.04.25	Г. И. Бойко
Результаты исследования	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	16.05.25	Г. И. Бойко
Нормоконтролер	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	05.06.25	Г. И. Бойко

Научный руководитель _____ *Г. И. Бойко*

Бойко Г. И.

Задание принял к исполнению обучающийся

Е. С. Пулатов

Пулатов Е. С.

Дата «29» 01 2025 г.

АНДАТПА

Жұмыстың мақсаты алюминийдің көпкомпонентті қорытпалары негізінде, құрамында Ga, In, Sn сияқты төмен балқитын металдар 1,25-тен 5,0 массалық % концентрацияда болатын полиоксихлорид алюминийін әзірлеу және оның тиімділігін зерттеу, толықтыру және табиғи суды ілінген бөлшектерден, органикалық және бейорганикалық ластаушылардан тазарту үшін.

Жұмыстың міндеттері: Жайық су блогынан алынған толықтыру суы мен Кіші Алматы өзенінің табиғи суының физика-химиялық сипаттамаларын әртүрлі жыл мезгілдерінде К-31 және К-32 полиоксихлорид алюминийімен өңдеуден бұрын және кейін салыстырмалы талдау жүргізу. Судың ілінген бөлшектерден, органикалық және бейорганикалық ластаушылардан тазарту тиімділігін лайлылықтың төмендеуі, хлор-ионы, химиялық оттегі қажеттілігі (ХОҚ), судың кермектігі көрсеткіштері бойынша бағалау.

К-31 және К-32 полиоксихлорид алюминийлерінің су тазарту тиімділігін өнеркәсіптік коагулянт Аква-Аурат 30-пен салыстырмалы бағалау.

Жұмыстың құрамы: 33 бет, 3 сурет, 6 кесте, 36 пайдаланылған әдебиет көзі.

АННОТАЦИЯ

Целью работы является разработка и исследование эффективности полиоксихлорида алюминия на основе многокомпонентных сплавов алюминия, содержащих низкоплавкие металлы Ga, In, Sn в концентрациях от 1,25 до 5,0 масс. % для очистки подпиточной и природной воды от взвешенных частиц, органических и неорганических загрязнений.

Задачи работы: проведение сравнительного анализа физико-химических характеристик подпиточной воды с водоблока Жайык, а также природной воды Малой Алматинки в разные периоды года до и после обработки полиоксихлоридами алюминия К-31 и К-32. Оценка эффективности удаления взвешенных частиц, органических и неорганических загрязнителей в воде, по показателю снижению мутности, хлор-иона, химической потребности кислорода (ХПК), жесткости воды.

Сравнительная оценка эффективности очистки воды полиоксихлоридами алюминия К-31 и К-32 в сравнении с промышленным коагулянтом Аква-Аурат 30.

Работа содержит: 33 страниц, 3 рисунков, 6 таблиц, 36 использованных литературных источников.

ANNOTATION

Objective of the work development and investigation of the effectiveness of polyaluminum chloride based on multicomponent aluminum alloys containing low-melting metals Ga, In, Sn in concentrations from 1.25 to 5.0 wt.% for the purification of makeup and natural water from suspended particles, organic, and inorganic pollutants.

Tasks of the work: Conducting a comparative analysis of the physicochemical characteristics of makeup water from the Zhaiyk water block and natural water from the Malaya Almatinka River during different seasons before and after treatment with K-31 and K-32 polyaluminum chlorides. Evaluation of the efficiency of removing suspended particles, organic, and inorganic pollutants from water based on indicators such as turbidity reduction, chloride ion content, chemical oxygen demand (COD), and water hardness.

Comparative assessment of the water purification efficiency of K-31 and K-32 polyaluminum chlorides in comparison with the industrial coagulant Aqua-Aurat 30.

Content of the work: 33 pages, 3 figures, 6 tables, 36 references used.

СОДЕРЖАНИЕ

	Аннотация	
	Введение	9
1	Литературный обзор	10
1.1	Общие сведения о природной воде и её загрязнении	10
1.2	Современные методы очистки природных вод	11
1.3	Коагуляция как метод очистки природных вод	13
1.4	Теоретические аспекты процесса коагуляции	14
1.5	Гибридные коагулянты на основе активированного алюминия	16
1.6	Полиоксихлорид алюминия как перспективный коагулянт	17
2	Экспериментальная часть	19
2.1	Исходные вещества и материалы	19
2.2	Методика выполнения работ	19
2.2.1	Методика определения массового содержания хлорид ионов в пробах воды	19
2.2.2	Методика определения жёсткости воды в пробах воды	19
2.2.3	Методика определения массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов в пробах воды	20
2.2.4	Методика определения химического потребления кислорода в пробах воды	20
2.2.5	Методика определения перманганатной окисляемости в пробах воды	20
2.2.6	Методика определения массового содержания оксида алюминия у полиоксихлорида алюминия	20
2.2.7	Методика определения основности у полиоксихлорида алюминия	21
2.2.8	Приготовление 0,1 % раствора коагулянтов К 31 и К 32 в расчете на Al_2O_3	21
2.2.9	Методика обработки проб воды полиоксихлоридом алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов	21
2.3	Методика изготовления четырехкомпонентного сплава на основе легких и рассеянных металлов	21
3	Результаты и выводы	22
3.1	Синтез полиоксихлорида алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов	22
3.2	Оценка газовыделения и теплового эффекта при растворении сплава в растворе HCl	23
3.3	Оценка коагуляционной эффективности коагулянтов	25
	Заключение	29
	Перечень сокращений	30
	Список использованной литературы	31

ВВЕДЕНИЕ

В результате антропогенного воздействия химический состав поверхностных и подземных вод изменяется, что приводит к их загрязнению, снижению качества и росту численности патогенных и условно-патогенных микроорганизмов [1]. Одновременно с этим рост численности населения и экстенсивное развитие промышленности усиливают потребность в питьевой воде и способствуют ужесточению требований к её подготовке [2]. Эффективная очистка природных вод в индустриально развитых регионах от природных и антропогенных загрязнителей является приоритетной экологической задачей [3]. Очистка природных и сточных вод с использованием химических реагентов – это единственная возможность стабильного водообеспечения в условиях высокого воздействия на источники воды, в связи с этим, в наше время мировое сообщество уделяет большое внимание производству коагулянтов [4]. Современные промышленные методы производства оксихлорида алюминия для очистки воды основываются на высокотемпературных процессах, которые требуют сложного оборудования [2]. Коагуляция представляет собой один из действенных методов очистки воды, а полиоксихлориды алюминия применяются всё чаще благодаря их преимуществам перед сульфатами алюминия и железа [3]. В Казахстане производство полиоксихлорида алюминия отсутствует, несмотря на потребность, оцениваемую минимум в 11 тысяч тонн ежегодно [3]. Кроме того, данное исследование направлено на решение актуальных экологических проблем, связанных с повышением качества питьевой воды и минимизацией негативного воздействия сточных вод на окружающую среду [3]. Также одна из актуальных задач – снижение потребления природных вод для промышленности и переход к альтернативным источникам для подпитки оборотных систем водоснабжения, таким как поверхностные реки и подземные воды.

Цель и задачи работы:

- Разработка и исследование эффективности полиоксихлорида алюминия на основе многокомпонентных сплавов алюминия, содержащих низкоплавкие металлы Ga, In, Sn в концентрациях от 1,25 до 5,0 масс. % для очистки подпиточной и природной воды от взвешенных частиц, органических и неорганических загрязнений.
- Физико-химическое исследование и оценка эффективности очистки подпиточной и природной воды Жайык и Малая Алматинка до и после обработки коагулянтами полиоксихлорида алюминия и Аква-Аурат 30.
- Сравнительный анализ промышленного коагулянта Аква-Аурат 30 и полиоксихлорида алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов.

1. Литературный обзор

1.1 Общие сведения о природной воде и её загрязнении

Природная вода поверхностных источников (реки, озёра, водохранилища) и подземных (грунтовые, артезианские воды), является жизненно важным ресурсом, обеспечивающим питьевые, промышленные, сельскохозяйственные и бытовые нужды человечества. Однако её качество стремительно ухудшается из-за антропогенных и природных факторов загрязнения, что создаёт серьёзные вызовы для систем водоснабжения и водоочистки.

Отмечается [5], что поверхностные воды содержат широкий спектр загрязнителей, в том числе природные органические вещества (гуминовые и фульвовые кислоты), синтетические соединения (пестициды, фармацевтические препараты), нефтепродукты, ионы тяжёлых металлов (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк), патогенные микроорганизмы (кишечная палочка, сальмонелла, вирусы).

Эти вещества не только снижают пригодность воды для питьевых и хозяйственных целей, но и снижают ее качество, увеличивают её мутность (до 100–200 NTU), цветность (до 50–100 мг/л по Pt-Co шкале) и токсичность, создавая риски для здоровья человека и экосистем.

Антропогенные источники загрязнения, подробно рассмотренные в [6], включают промышленные стоки, содержащие нефтепродукты, фенолы и тяжёлые металлы, сельскохозяйственные удобрения, обогащающие водоёмы нитратами и фосфатами, а также бытовые отходы, вносящие органические загрязнители, микропластик и микробиологические патогены. Авторы [6] указывают, что избыточное поступление питательных веществ, таких как нитраты (до 50–100 мг/л в регионах интенсивного земледелия) и фосфаты (до 5–10 мг/л), вызывает эвтрофикацию, которая проявляется в массовом размножении цианобактерий, снижении содержания растворённого кислорода (менее 2 мг/л) и нарушении экологического баланса водоёмов. Например, в [6] описывается случай эвтрофикации озера Эри в США, где концентрация фосфатов достигла 10 мг/л, что привело к гибели рыб и ограничению водоснабжения для 500 000 жителей. Эти данные подчёркивают необходимость разработки эффективных методов очистки для предотвращения экологических и социальных последствий.

Природные факторы загрязнения, описанные в [7], связаны с геохимическими процессами, такими как вымывание алюмосиликатных пород, которые повышают содержание алюминия, железа, марганца и других металлов в грунтовых водах. В регионах с высокой минерализацией, таких как вулканические или горные районы, концентрация алюминия может достигать 1–2 мг/л, а железа — 5–10 мг/л, что значительно превышает безопасные уровни. В исследованиях [8] подчёркивается, что антропогенные факторы, включая использование алюминийсодержащих коагулянтов в процессах водоочистки, также способствуют накоплению остаточного алюминия, что представляет потенциальную угрозу для здоровья человека. Международные стандарты, приведённые в [5], устанавливают предельно допустимую концентрацию

алюминия в питьевой воде на уровне 0,2 мг/л. Превышение этого уровня, как отмечают авторы [8], может быть связано с неврологическими расстройствами, включая болезнь Альцгеймера, а также с нарушением обмена кальция и фосфора в организме.

В [25] особое внимание уделяется микропластику как новому и трудноудаляемому загрязнителю природных вод. Микрочастицы пластика (размером менее 5 мм) поступают в водоёмы из бытовых стоков, косметических средств и деградации пластиковых отходов. Авторы [25] указывают, что концентрация микропластика в поверхностных водах может достигать 10–100 частиц на литр, а в донных отложениях — до 1000 частиц/кг. Микропластик способен адсорбировать токсичные вещества, такие как пестициды, тяжёлые металлы и полициклические ароматические углеводороды, и транспортировать их в водные экосистемы, создавая долгосрочные экологические риски.

1.2 Современные методы очистки природных вод

Очистка природных вод от загрязнителей осуществляется с использованием широкого спектра физико-химических, биологических и комбинированных технологий, каждая из которых имеет свои преимущества, ограничения и области применения.

В работах [10, 11] описываются основные методы, включая механическую фильтрацию (песчаные и гравийные фильтры), сорбцию (активированный уголь, цеолиты), мембранные технологии (обратный осмос, ультрафильтрация, нанофильтрация), коагуляцию, флокуляцию, окисление (озонирование, хлорирование) и биологическую очистку (биореакторы, микроводоросли). Выбор метода зависит от состава воды, объёма обработки, экологических требований и экономических возможностей. Авторы [10] подчёркивают, что мембранные технологии, такие как обратный осмос, обеспечивают удаление до 99% растворённых солей, тяжёлых металлов, органических соединений и микроорганизмов. Например, в [10] приводятся данные, что обратный осмос снижает концентрацию нитратов с 50 мг/л до 1–2 мг/л, а хлоридов — с 500 мг/л до 10–20 мг/л, что соответствует строгим стандартам питьевой воды. Однако высокая стоимость оборудования (до 1–2 млн долларов для станции производительностью 1000 м³/сутки), энергозатраты (3–5 кВт·ч/м³) и необходимость предварительной подготовки воды для предотвращения засорения мембран (например, удаление крупных частиц и органики) ограничивают их применение, особенно в развивающихся странах.

Сорбционные методы, подробно рассмотренные в [12], основаны на использовании активированного угля, природных цеолитов, силикагелей, ионообменных смол и синтетических адсорбентов. Эти материалы эффективно удаляют органические загрязнители (пестициды, фенолы, нефтепродукты), микрочастицы и некоторые тяжёлые металлы (например, свинец и кадмий).

В работе [12] указывается, что активированный уголь способен адсорбировать до 90% растворённых органических веществ, таких как хлорорганические соединения, при концентрации 1–5 мг/л. Однако

адсорбционная ёмкость угля снижается после 3–6 месяцев эксплуатации, требуя термической регенерации (при 800–1000 °С) или полной замены. Это увеличивает затраты на 20–30%. Согласно [26] использование модифицированных сорбентов, таких как углеродные нанотрубки, графеновые композиты и металлоорганические каркасы, которые обладают повышенной селективностью и адсорбционной способностью (до 200–300 мг/г для органических загрязнителей). Например, в [26] приводятся данные, что нанотрубки удаляют до 95% фенолов при концентрации 10 мг/л за 2–3 часа. Однако их стоимость (в 10–20 раз выше, чем у активированного угля) и сложность синтеза пока препятствуют широкому внедрению.

Электрокоагуляция, изученная в [13], представляет собой инновационный физико-химический метод, при котором коагулянты, такие как ионы алюминия или железа, генерируются путём электролиза металлических электродов. Этот подход позволяет сократить потребность в химических реагентах на 50–70% и эффективно удалять мутность (до 95%), тяжёлые металлы (хром, свинец, мышьяк) и органические загрязнители (гуминовые кислоты).

Описывается эксперимент, в котором электрокоагуляция снизила мутность воды с 100 NTU до 1–2 NTU за 20–30 минут при токе 5–10 А/м². Однако масштабирование технологии ограничено высокими энергозатратами (до 10 кВт·ч/м³ для воды с высокой мутностью) и необходимостью регулярной замены электродов (каждые 3–6 месяцев), что увеличивает эксплуатационные расходы на 15–20%. В [28] подчёркивается, что электрокоагуляция особенно эффективна для небольших водоочистных станций, где объём обработки не превышает 100–500 м³/сутки, но её применение для крупных систем требует оптимизации энергопотребления [13].

Биологические методы, описанные в [14], включают использование микроводорослей, бактерий, грибов и водных растений для удаления питательных веществ (нитратов, фосфатов), органических загрязнителей и некоторых тяжёлых металлов. В [14] отмечается, что микроводоросли, такие как *Chlorella vulgaris*, способны поглощать до 80% нитратов (с 50 мг/л до 10 мг/л) и 70% фосфатов (с 5 мг/л до 1,5 мг/л) за 5–7 дней при температуре 20–25 °С. Кроме того, микроводоросли продуцируют кислород, улучшая экологическое состояние водоёмов. Однако их эффективность резко снижается при низких температурах (менее 10 °С), высоких концентрациях токсичных веществ (например, тяжёлых металлов выше 1 мг/л) или низкой освещённости, что ограничивает их применение в холодных климатах или промышленных стоках.

В работе [27] обсуждается интеграция биологических методов с физико-химическими, например, использование микроводорослей после коагуляции для доочистки воды от остаточных питательных веществ. Это позволяет достичь синергетического эффекта, снижая концентрацию нитратов до 5 мг/л и мутность до 0,5 NTU.

Комбинирование методов, таких как коагуляция с последующей ультрафильтрацией, сорбцией или окислением, является приоритетным направлением современной водоочистки [11]. Подчёркивается, что гибридные

технологии позволяют удалять до 95% органических загрязнителей, 99% тяжёлых металлов и 100% патогенных микроорганизмов, обеспечивая соответствие воды питьевым стандартам.

Так, в работе [27] описывается система, сочетающая коагуляцию с ультрафильтрацией, которая снижает мутность с 50 NTU до 0,1 NTU и концентрацию органического углерода с 15 мг/л до 1–2 мг/л.

Однако такие системы требуют значительных капитальных вложений (до 500 000–1 миллион долларов для станции производительностью 1000 м³/сутки) и квалифицированного персонала, что ограничивает их доступность в регионах с ограниченными ресурсами.

Акцентируется внимание [9] на необходимости адаптации технологий к местным условиям, включая состав воды, климатические особенности и экономические возможности, а также на разработке экологически устойчивых методов, минимизирующих образование токсичных отходов и энергопотребление.

1.3 Коагуляция как метод очистки природных вод

Коагуляция остаётся одним из наиболее универсальных, экономичных и широко применяемых методов очистки природных вод, используемых на водоочистных станциях по всему миру. В работах [15, 16] подчёркивается, что коагуляция эффективно удаляет коллоидные частицы, вызывающие мутность (глинистые минералы, силикаты) и цветность (гуминовые и фульвовые кислоты), а также растворённые органические вещества, которые придают воде неприятный вкус, запах и коричневый оттенок. Процесс заключается в добавлении коагулянтов, таких как соли алюминия или железа, которые дестабилизируют коллоидные системы, снижая их электростатическое отталкивание и способствуя агрегации частиц в крупные хлопья. Эти хлопья затем удаляются путём осаждения (в отстойниках) или фильтрации (песчаные или мембранные фильтры).

В исследованиях [17] проводится сравнительный анализ традиционных коагулянтов, таких как сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) и хлорид железа (FeCl_3), с современными аналогами, включая полиоксихлорид алюминия (ПОХА). Сульфат алюминия (СА), как указывают авторы, требует строгого контроля pH (оптимальный диапазон 6,0–7,0) и теряет эффективность при низких температурах (менее 10 °C), что приводит к увеличению дозировки на 20–30% (с 20 мг/л до 25–30 мг/л). Хлорид железа эффективен для вод с высоким содержанием органики, но вызывает коррозию оборудования и придаёт воде желтоватый оттенок при передозировке. В отличие от них, ПОХА демонстрирует стабильную производительность в широком диапазоне pH (4,5–8,0) и при температурах 5–10 °C, что делает его предпочтительным для очистки воды в холодных климатических условиях.

В [17] подчёркивается, что коагуляция часто комбинируется с флокуляцией, при которой добавляются полимерные флокулянты, такие как полиакриламид или катионные полимеры, для усиления образования крупных и

плотных хлопьев. Это сокращает время осаждения с 30–60 минут до 10–15 минут и уменьшает объём образующегося осадка на 20–30%. Например, в [17] описывается эксперимент, в котором добавление 0,5 мг/л полиакриламида к ПОХА увеличило размер хлопьев с 0,5 мм до 2–3 мм, что улучшило их осаждение на 40%.

Коагуляция имеет ряд ограничений, которые требуют тщательного контроля технологического процесса.

В работе [16] указывается, что неправильное дозирование коагулянтов или отклонение pH от оптимального диапазона может привести к повышенному содержанию остаточного алюминия (0,3–0,5 мг/л) или железа (0,5–1,0 мг/л) в очищенной воде, что превышает допустимые нормы ВОЗ (0,2 мг/л для алюминия, 0,3 мг/л для железа). Это требует дополнительных этапов обработки, таких как сорбция на активированном угле или фильтрация через ионообменные смолы.

Авторы [28] обсуждают экологические аспекты коагуляции, включая проблему утилизации осадка, который может содержать тяжёлые металлы, органические загрязнители и остатки коагулянтов. Объём осадка, как отмечают авторы, может составлять 0,5–2% от объёма очищенной воды, а его захоронение на полигонах увеличивает экологическую нагрузку.

Предлагаются альтернативные подходы [28], такие как переработка осадка в строительные материалы (кирпич, цемент) или использование в сельском хозяйстве после детоксикации путём термической обработки или химической нейтрализации.

Несмотря на эти ограничения, коагуляция остаётся основой многих систем водоочистки благодаря своей простоте, доступности и способности адаптироваться к различным типам воды.

1.4 Теоретические аспекты процесса коагуляции

Теоретическая основа коагуляции базируется на физико-химических процессах дестабилизации коллоидных систем, нейтрализации поверхностного заряда частиц и их последующей агрегации в крупные хлопья. В работах [15, 19] описывается, что коллоидные частицы в природной воде, такие как глинистые минералы, силикаты, гуминовые вещества и бактерии, обладают отрицательным поверхностным зарядом, который предотвращает их сближение из-за электростатического отталкивания. Коагулянты, такие как соли алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ПОХА) или железа (FeCl_3), вводятся для нейтрализации этого заряда, что позволяет частицам агрегировать в хлопья размером 0,5–5 мм, которые легко удаляются путём осаждения или фильтрации.

Отмечается [19], что эффективность коагуляции зависит от pH среды: для алюминиевых коагулянтов оптимальный диапазон составляет 5,5–7,5, где растворимость гидроксида алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_3$) минимальна, а образование полимерных гидроксокомплексов, таких как $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}]^{7+}$, максимально.

При pH ниже 5,5 или выше 7,5 растворимость алюминия увеличивается, что снижает эффективность коагуляции и повышает содержание остаточного алюминия до 0,5–1,0 мг/л.

Исследования [16] детализируют два основных механизма коагуляции: концентрационный и нейтрализационный. В концентрационном механизме ионы алюминия или железа образуют комплексы с загрязнителями, такими как фосфаты, сульфаты или органические кислоты, что приводит к их осаждению в виде нерастворимых соединений. Например, в [16] описывается реакция между ионами алюминия и фосфатами, образующая $AlPO_4$, который эффективно удаляется из воды. В нейтрализационном механизме коагулянты снижают поверхностный заряд частиц, уменьшая их стабильность в водной среде и способствуя агрегации.

В [19] подчёркивается роль кинетических факторов, таких как интенсивность и продолжительность перемешивания, а также время контакта реагента с водой.

Оптимальная скорость перемешивания, как указывают авторы, составляет 100–200 об/мин на стадии быстрого смешивания (1–2 минуты) и 20–50 об/мин на стадии медленного смешивания (10–20 минут). Недостаточная скорость (менее 100 об/мин) приводит к образованию мелких и нестабильных хлопьев, которые плохо оседают, тогда как чрезмерное перемешивание (более 300 об/мин) разрушает сформировавшиеся агрегаты, увеличивая мутность воды на 10–20%.

В работе [29] рассматриваются дополнительные факторы, влияющие на коагуляцию, включая температуру, ионную силу воды, присутствие конкурирующих ионов и концентрацию органических веществ. Авторы указывают, что при низких температурах (5–10 °C) скорость гидролиза коагулянтов замедляется, что увеличивает время формирования хлопьев с 5–10 минут до 20–30 минут и требует увеличения дозировки на 10–20% (например, с 20 мг/л до 25–30 мг/л). Высокая ионная сила воды, обусловленная присутствием хлоридов или сульфатов (500–1000 мг/л), может экранировать заряд частиц, снижая потребность в коагулянте, но одновременно увеличивая растворимость гидроксидов металлов. В [19] обсуждаются физико-химические свойства коагулянтов, включая их степень полимеризации и способность взаимодействовать с конкретными загрязнителями. Например, высокополимерные коагулянты, такие как ПОХА, образуют более крупные и плотные хлопья (2–5 мм) по сравнению с мономерными солями алюминия (0,5–1 мм), что улучшает осаждение и снижает остаточное содержание металлов до 0,05–0,10 мг/л.

В [15] подчёркивается, что выбор коагулянта и условий его применения должен учитывать состав воды, включая концентрацию органики, мутность, щелочность, температуру и ионный состав. Для вод с высоким содержанием гуминовых веществ (10–20 мг/л) требуется повышенная дозировка коагулянта (20–50 мг/л) и добавление флокулянтов, тогда как для низкомутных вод (5–10 NTU) достаточно 5–10 мг/л.

В [16] также обсуждаются методы оптимизации коагуляции, такие как предварительное тестирование воды, которое позволяет определить оптимальную дозировку и pH с точностью до 0,1–0,2 единиц. Эти аспекты подчёркивают сложность коагуляционного процесса и необходимость

тщательной настройки его параметров для достижения максимальной эффективности и минимизации экологических рисков.

1.5 Гибридные коагулянты на основе активированного алюминия

Гибридные коагулянты, синтезированные на основе активированного алюминия, представляют собой перспективное направление в водоочистке, сочетая высокую эффективность, экологическую безопасность и экономическую выгоду. В работах [21, 22] описывается технология активации алюминиевых сплавов путём термической обработки (нагрев до 500–600 °С в инертной атмосфере), химической модификации (обработка кислотами, такими как HCl, или щелочами, такими как NaOH) или электрохимической активации (электролиз с использованием переменного тока). Эти методы увеличивают удельную поверхность алюминия (с 0,1–0,5 м²/г до 10–20 м²/г) и его реакционную способность, что улучшает коагуляционные свойства. Авторы [21] утверждают, что активированный алюминий обеспечивает более быстрое образование хлопьев (в течение 2–5 минут по сравнению с 10–15 минутами для сульфата алюминия) и снижает содержание остаточного алюминия в очищенной воде до 0,05–0,10 мг/л, что полностью соответствует нормам ВОЗ (0,2 мг/л).

В исследованиях [23] подчёркивается, что добавление полимерных компонентов, таких как полиакриламид, полиэлектролиты (катионные или анионные), или природные полисахариды (хитозан, альгинаты), к активированному алюминию значительно усиливает процессы флокуляции. Полимеры действуют как «мостики», связывая мелкие хлопья в крупные и плотные агрегаты размером 2–5 мм, что улучшает их осаждение и снижает объём осадка на 20–30%.

В [23] описывается эксперимент, в котором комбинация активированного алюминия (дозировка 10 мг/л) с полиакриламидом (0,5 мг/л) позволила снизить мутность воды с 50 NTU до 0,5 NTU и концентрацию органического углерода с 15 мг/л до 2 мг/л за один цикл обработки (15 минут). Это демонстрирует высокую эффективность гибридных коагулянтов для вод с высоким содержанием гуминовых веществ, которые трудно удаляются традиционными методами, такими как сульфат алюминия, требующий дозировки 20–30 мг/л и времени осаждения 30–60 минут.

Авторы [22] также отмечают экологические преимущества гибридных коагулянтов. Образующийся осадок обладает низкой токсичностью (содержание тяжёлых металлов менее 0,01 мг/г) и может быть переработан для производства строительных материалов, таких как кирпич, цемент или заполнители для бетона. Кроме того, в [22] подчёркивается, что активированный алюминий обладает меньшей кислотностью по сравнению с сульфатом алюминия (рН раствора 4,0–4,5 против 3,0–3,5), что снижает коррозию оборудования водоочистных станций и продлевает срок его службы на 20–30%.

Сравнительный анализ в [21] показывает, что гибридные коагулянты на основе активированного алюминия превосходят традиционные реагенты по эффективности при меньших дозировках (на 15–20% ниже, например, 10–15 мг/л

против 20–30 мг/л для сульфата алюминия) и меньшем объёме осадка (на 25–30% меньше). Это делает их экономически выгодными для крупномасштабной водоочистки, особенно в регионах с ограниченными ресурсами. В [28] обсуждается дополнительное преимущество активированного алюминия — его способность снижать коррозию трубопроводов и дозирующих систем, что сокращает затраты на их обслуживание на 10–15% в год. Однако, как указывается в [23], разработка гибридных коагулянтов требует дальнейших исследований для оптимизации их состава, технологии производства и оценки долгосрочного воздействия на окружающую среду. Например, использование синтетических полимеров, таких как полиакриламид, может привести к накоплению микрочастиц в экосистемах, что требует разработки биоразлагаемых альтернатив, таких как хитозан или целлюлоза. В [21] также подчёркивается необходимость стандартизации методов активации алюминия для обеспечения воспроизводимости и стабильности коагулянтов в промышленных условиях.

1.6 Полиоксихлорид алюминия как перспективный коагулянт

Полиоксихлорид алюминия (ПОХА) выделяется среди коагулянтов благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, включая высокую степень полимеризации, химическую стабильность, универсальность и экологическую безопасность. В работах [17, 24] подчёркивается, что ПОХА обладает сложной полимерной структурой, состоящей из гидроксокомплексов алюминия, таких как $[Al_2(OH)_3Cl_3]^{n+}$ и $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{7+}$, которые обеспечивают быстрое образование крупных и плотных хлопьев размером 2–5 мм. Это сокращает время осаждения с 30–60 минут (для сульфата алюминия) до 5–10 минут и повышает эффективность удаления мутности (с 50–100 NTU до 0,1–0,5 NTU) и органических веществ (с 15 мг/л до 1–2 мг/л).

Авторы [24] отмечают, что ПОХА демонстрирует высокую эффективность в широком диапазоне pH (4,5–8,0) и при низких температурах (5–10 °C). Это делает его идеальным для очистки воды в холодных климатических условиях, где традиционные коагулянты, такие как сульфат алюминия (СА), требуют увеличения дозировки на 20–30% (с 20 мг/л до 25–30 мг/л) и корректировки pH.

Сравнительные исследования, проведенные в работе [18] показывают, что использование ПОХА позволяет снизить дозировку коагулянта на 20–25% по сравнению с сульфатом алюминия (например, с 30 мг/л до 20–25 мг/л), а содержание остаточного алюминия в очищенной воде составляет 0,05–0,10 мг/л, что значительно ниже норм ВОЗ (0,2 мг/л).

В [17] подчёркивается, что ПОХА не изменяет щелочность воды, в отличие от сульфата алюминия, который снижает pH на 0,5–1,0 единицы и требует добавления щелочных реагентов, таких как гидроксид натрия или карбонат кальция, для корректировки. Это упрощает технологический процесс и снижает эксплуатационные расходы на 10–15%.

Опыт внедрения ПОХА на водоочистой станции в Северной Европе (Швеция) производительностью 2000 м³/сутки, описывается в работе [24]. Использование реагента позволило сократить расход химикатов на 30% (с 50

тонн до 35 тонн в год), уменьшить объём осадка на 15% (с 100 м³ до 85 м³ в месяц) и сэкономить 50 000 евро в год за счёт снижения затрат на реагенты и утилизацию отходов.

В [18] также отмечаются антикоррозионные свойства ПОХА, которые связаны с его низкой кислотностью (рН раствора 4,0–4,5) и отсутствием агрессивных ионов, таких как сульфаты или хлориды в высокой концентрации. Это снижает коррозию трубопроводов, насосов и дозирующих систем водоочистных станций, продлевая их срок службы на 20–30% (с 10–15 лет до 15–20 лет).

В работе [29] обсуждается способность ПОХА эффективно удалять не только мутность, но и специфические органические загрязнители, такие как тригалометаны (побочные продукты хлорирования), фенолы, полициклические ароматические углеводороды и пестициды. Например, в [29] приводятся данные, что ПОХА снижает концентрацию тригалометанов с 100 мкг/л до 10–20 мкг/л, а фенолов — с 1 мг/л до 0,05–0,1 мг/л, что соответствует строгим стандартам питьевой воды (ВОЗ, ЕС). Это особенно важно для предотвращения канцерогенных и мутагенных эффектов, связанных с длительным потреблением воды с повышенным содержанием этих веществ.

В работе [24] подчёркивается, что высокая степень полимеризации ПОХА обеспечивает стабильность его структуры даже при переменном составе воды. ПОХА пригоден для очистки воды с мутностью (от 10 до 100 NTU), органических загрязнителей от 5 до 20 мг/л или ионной силе (от 100 до 1000 мг/л). Это делает ПОХА универсальным реагентом, подходящим для очистки как поверхностных, так и грунтовых вод, а также промышленных стоков с умеренной загрязнённостью. В [18] описывается пример применения ПОХА для очистки воды из озера с высоким содержанием гуминовых веществ (15 мг/л), где реагент снизил цветность с 100 мг/л по Pt-Co шкале до 5–10 мг/л и мутность с 50 NTU до 0,5 NTU за 10 минут. Однако, как отмечают авторы [18], внедрение ПОХА требует модернизации дозирующих систем (например, переход на автоматические дозаторы с точностью 0,1 мг/л) и обучения персонала, что может увеличить первоначальные затраты на 5–10% (до 10 000–20 000 долларов для станции производительностью 1000 м³/сутки). Тем не менее, долгосрочные экономические и экологические преимущества, включая снижение расхода реагентов, объёма осадка, коррозии и токсичности отходов, делают ПОХА перспективным решением для современных систем водоочистки.

2. Экспериментальная часть

2.1 Исходные вещества и материалы

Алюминий в гранулированной форме был закуплен у АО «Казахстанский электролизный завод», единственного производителя алюминия в Республике Казахстан, входящего в состав Евразийской Группы (ERG).

Галлий, в форме цилиндрических слитков массой 300 г был поставлен у АО «Казахстанский электролизный завод». Плотность при 20 °С: 7,362 г/см³, температура плавления: 29,8 °С.

Индий (марка Ин00) в форме цилиндрических слитков массой 300 г также поставлен АО «Казахстанский электролизный завод». Плотность при 20 °С: 5,904 г/см³, температура плавления: 156,59 °С.

Олово в форме чушек, массой от 10–15 кг, содержание олова 99,565 %, температура плавления: 231,91 °С.

Соляная кислота (ХЧ, соответствует ГОСТ 3118–77) с массовой долей 35 %, плотностью 1,16 г/см³ и температурой кипения азеотропной смеси (20,22 %) 108,6 °С применялась без дополнительной обработки.

Четырехкомпонентный сплав на основе легких и рассеянных металлов Al – 90 %, Ga – 5 %, In – 2,5 %, Sn – 2,5 %.

Четырехкомпонентный сплав на основе легких и рассеянных металлов Al – 95 %, Ga – 2,5 %, In – 1,25 %, Sn – 1,25 %.

Дистиллированная вода.

Коагулянт К-31, изготовленный на основе сплава (Al – 90 %, Ga – 5 %, In – 2,5 %, Sn – 2,5 %).

Коагулянт К-32, изготовленный на основе сплава (Al – 95 %, Ga – 2,5 %, In – 1,25 %, Sn – 1,25 %).

Раствор коагулянта с концентрацией 0,1 % в пересчёте на мольную долю Al₂O₃.

Промышленный коагулянт торговой марки Аква-Аурат 30.

2.2 Методика выполнения работ

2.2.1 Методика определения массового содержания хлорид-ионов в пробах воды

Определение содержания хлорид-ионов в пробах воды выполнялось согласно ГОСТ 4245–72 методом титрования, основанным на осаждении хлорид-ионов ионами серебра в нейтральной или слабощелочной среде с образованием нерастворимого хлорида серебра. В качестве индикатора применялся хромовокислый калий, который при достижении точки эквивалентности образует красный осадок хромата серебра, указывающий на завершение реакции [30].

2.2.2 Методика определения жёсткости в пробах воды

Определение жесткости в пробах воды выполнялось в соответствии с ГОСТ 31954–2012 методом комплексонометрического титрования. Процесс основан на связывании ионов кальция (Ca²⁺) и магния (Mg²⁺), отвечающих за жесткость воды, с раствором трилона Б в щелочной среде (рН около 10) в присутствии индикатора эриохрома черного Т, который сигнализирует о достижении точки эквивалентности изменением окраски [31].

2.2.3 Методика определения массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов в пробах воды

Определение массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов в пробах воды проводилось в соответствии с ГОСТ 31597–2012 методом кислотно-основного титрования. Процедура основана на последовательном титровании пробы с использованием индикаторов фенолфталеина и метилового оранжевого (или их смесей), которые изменением окраски указывают на точки эквивалентности, соответствующие содержанию карбонатов и гидрокарбонатов в растворе [32].

2.2.4 Методика определения химического потребления кислорода в пробах воды

Определение химического потребления кислорода (ХПК) в пробах воды проводилось в соответствии с ГОСТ 31859–2012 методом окисления. Процедура основана на окислении органических веществ в пробе раствором дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) в кислой среде при нагревании с последующим титрованием избытка дихромата раствором соли Мора (сульфата железа-аммония) ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) в присутствии индикатора ферроина, который изменением окраски сигнализирует о достижении точки эквивалентности [33].

2.2.5 Методика определения перманганатной окисляемости в пробах воды

Определение перманганатной окисляемости в пробах воды проводилось в соответствии с ГОСТ Р 55684–2013 методом окисления. Процедура основана на окислении органических веществ в пробе с раствором перманганата калия ($KMnO_4$) в кислой среде (H_2SO_4) при нагревании с последующим титрованием избытка перманганата раствором щавелевой кислотой $H_2C_2O_4$ ($\begin{smallmatrix} O & & O \\ \parallel & & \parallel \\ HO-C & - & C-OH \end{smallmatrix}$) [34].

2.2.6 Методика определения массового содержания оксида алюминия у полиоксихлорида алюминия

Анализ массового содержания оксида алюминия в полиоксихлориде алюминия (ПОХА) выполнен по ГОСТ Р 58580–2019, Приложение Б. Метод основан на образовании прочного комплекса катионов алюминия с трилоном Б в кислой среде. Раствор пробы с избытком трилона Б кипятят 15 минут для ускорения реакции. Избыток трилона Б титруют раствором сернокислого цинка в слабокислой среде (рН 5,5) с индикатором ксиленоловый оранжевый. Массовую долю оксида алюминия рассчитывают по формуле [35].

$$X = \frac{(V_1 \times K_1 - V_2 \times K_2) \times 0,002549}{m \times V_1} \times 100, \quad (1)$$

2.2.7 Методика определения основности у полиоксихлорида алюминия

Основность полиоксихлорида алюминия (ПОХА) определяют по ГОСТ Р 58580–2019 методом обратного кислотно-основного титрования после

осаждения алюминия в виде гидроксида. Объем соляной кислоты, израсходованной при титровании с индикатором фенолфталеин, используют для расчета основности. Высокая основность усиливает гидролиз коагулянта, повышая его эффективность при очистке воды за счет улучшения хлопьеобразования. Значение основности рассчитывают по формуле [35].

$$X = \left(1 - \frac{(C_1 V_1 \times K_1 - C_2 V_2 \times K_2) \times 26.982}{m \times 3 \times 0.5292 \times X_1 \times 1000}\right) \times 100, \quad (2)$$

2.2.8 Приготовление 0,1 % раствора в расчете на Al_2O_3 коагулянтов К-31 и К-32

Расчет массы навески полиоксихлорида алюминия для приготовления раствора с содержанием 1 г оксида алюминия (Al_2O_3) на 1 л выполнен в соответствии с ГОСТ Р 51642–2000 [36].

2.2.9 Методика обработки проб воды полиоксихлоридом алюминия на основе сплавов лёгких и рассеянных металлов

Методика обработки воды коагулянтами основана по ГОСТ Р 51642–2000.

Обработку воды коагулянтами выполняли следующим образом: в стакан объемом 250 мл помещали 200 мл природной воды, в которую при интенсивном перемешивании магнитной мешалкой (250 об/мин) добавляли заданное количество раствора коагулянта. Смесь перемешивали 3 минуты, постоянно контролируя уровень pH. Затем снижали скорость перемешивания до 50 об/мин и продолжали в течение 15 минут. После этого мешалку отключали, а воду оставляли отстаиваться на 30 минут. Оставшиеся образцы фильтровали через обеззоленным фильтром «красная лента», после отбирали пробы по 20 мл и измеряли их мутность, оценивая тем самым эффективность коагулянта в снижении мутности воды [36].

2.3 Методика изготовления четырехкомпонентных сплавов на основе сплавов легких и рассеянных металлов

Сплавы, содержащие лёгкие и рассеянные металлы как: галлий, индий и олово получали следующим образом. На аналитических весах с точностью 0,0001г, взвесили алюминий и плавил в муфельной печи при температуре 750–800°C, используя алундовые тигли в атмосфере воздуха. К расплаву алюминия добавили галлий, индий, олово и тщательно перемешали кварцевым стержнем. Полученный расплав выдерживали в печи 30 минут для равномерного распределения компонентов, затем разливали в формы и охлаждали в вакууме. Из образовавшихся слитков изготавливали порошок, путем трёхкратного дробления в аналитическом мельнице. Полученные порошки с дисперсностью от 1 до 5 мм хранили в бюксах (рисунок 1).

Таблица 1 – Компонентный состав сплава на основе легких и рассеянных металлов

Шифр сплава, №	Содержание металлов, %				Температура плавки, °С	Время выдержки, мин
	Al	Ga	In	Sn		
7.1	90	5	2.5	2.5	750	30
8.1	95	2.5	1.25	1.25	800	30

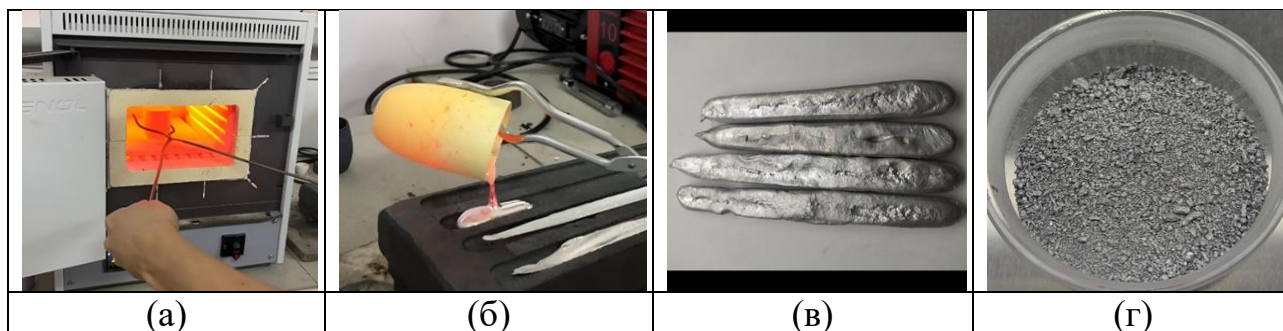
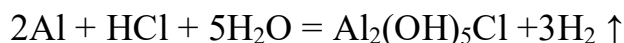


Рисунок 1 – Плавка и литье в муфельной печи и образцы слитков сплава и порошка

3 Результаты и обсуждения

3.1 Синтез полиоксихлорида алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов

Для получения коагулянта полиоксихлорида алюминия использовали сплав в виде порошка, стружки или гранулы. Обработка сплава алюминия проводится с применением 1,5 % раствора соляной кислоты при комнатной температуре, без дополнительного нагрева, так как реакция протекает самопроизвольно с выделением тепла. Процесс протекает по схеме:



В двугорлую колбу объемом 500 мл, снабженную термометром, обратным холодильником и мешалкой, помещали 250 мл 1,5 % раствора соляной кислоты. Затем к раствору добавляют 5 г сплава легких и рассеянных металлов, предварительно измельченного в мельнице. Содержание алюминия в сплаве составляет от 90 до 95 масс. %. После внесения сплава начинается экзотермическая реакция, в ходе которой температура раствора самопроизвольно повышается до 81,1–81,8 °С, что является оптимальным для протекания процесса. Продолжительность реакции составляет 3 часа, при этом рабочая температура стабилизируется на уровне около 60 °С. По завершении процесса проводится измерение pH полученного раствора, фильтрация обеззоленным фильтром марки "красная лента". Далее раствор упаривают при температуре

105 °С, в результате чего образуется белый порошкообразный коагулянт (рисунок 2).

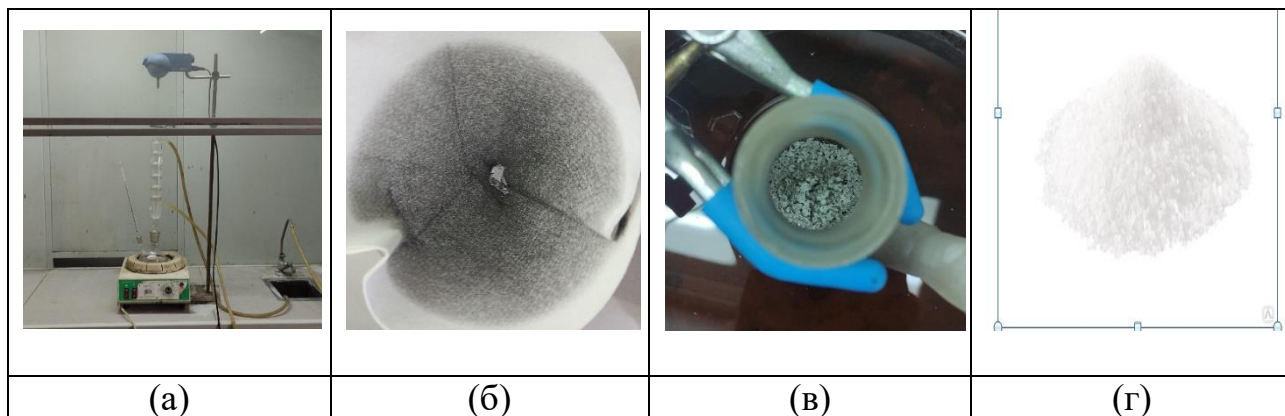


Рисунок 2 – Стадии получения полиоксихлорида алюминия на основе сплавов лёгких и рассеянных металлов

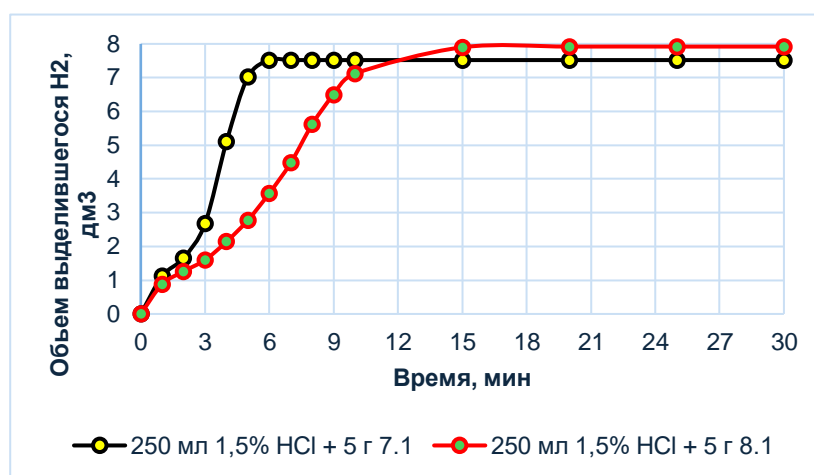
Высокая реакционная способность сплава обусловлена присутствием в его составе таких металлов, как галлий, индий и олово. Эти элементы играют роль активаторов: они способствуют структурному разрыхлению сплава, создают микрогальванические пары, а также участвуют в формировании легкоплавких эвтектик с алюминием. Благодаря этому происходит разрушение оксидной плёнки на поверхности алюминия, что значительно увеличивает его химическую активность.

При взаимодействии с растворами кислоты рассеянные металлы не растворяются, а формируют капли эвтектического состава, оседающие на дно колбы. Эти металлические шарики не вступают в дальнейшую реакцию и могут быть повторно использованы при подготовке нового алюминиевого сплава.

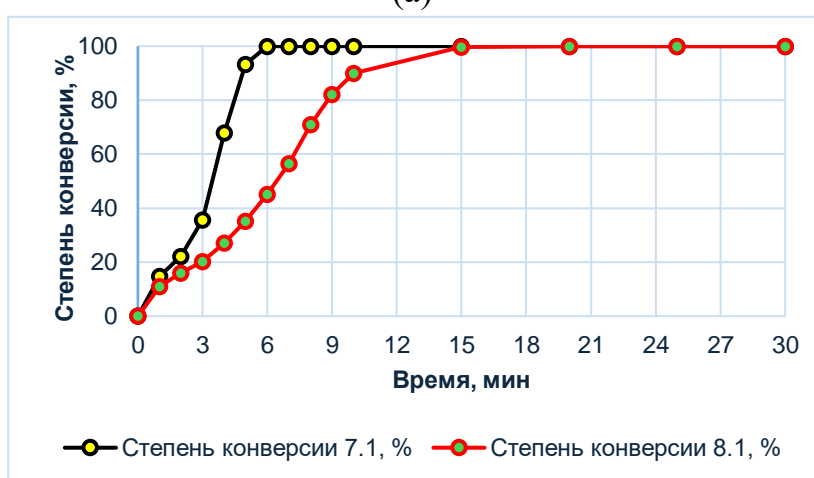
3.2 Оценка газовыделения и теплового эффекта при растворении сплава в растворе HCl

Процесс растворения алюминийсодержащих сплавов протекает с достаточной скоростью, сопровождается равномерным выделением водорода, ростом температуры реакционной среды.

Объем выделившегося водорода при взаимодействии сплава алюминия № 7.1 и сплав № 8.1 с раствором соляной кислоты измерялся на барабанном газосчетчике. Эксперимент осуществляли при температуре 25 °С. Температура разогрева воды измерялась термометром с точностью 0,1 °С.



(а)



(б)

Рисунок 3 – Кинетические кривые выхода водорода (а) и степень конверсии (б) при взаимодействии сплава № 7.1 и сплава № 8.1 с HCl

Выявлено, что выход пароводородной смеси достигает 7,52–7,92 дм³ соответственно, что превышает теоретически расчетное значение выхода водорода, конверсия составила 100%.

В таблице 2 приведены условия синтеза и общая характеристика полученных коагулянтов.

Таблица 2 – Условия синтеза и общая характеристика полиоксихлоридов алюминия К-31 и К-32

Марка коагулянта	К-31	К-32
Соотношения сплав: водный раствор кислоты	1:50	1:50
Время реакции, час	3	3
Выход водорода, дм ³	7.52	7.92

Максимальная температура нагрева раствора, °С	81.8	81.1
Тепловыделение (Q), кДж/кг	59398.6	58666.5
Содержание Al ₂ O ₃ в ПОХА, %	32.50	31.67
Основность ПОХА, %	51.50	46.92
рН раствора ПОХА	3.87	3.82
К 250 мл 1.5% водного раствора HCl добавляли 5 г сплава		

После введения сплава наблюдалась повышение температуры раствора HCl до 81,1–81,8 °С.

Количество выделенной теплоты Q реакции рассчитывали по уравнению теплообмена:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

Q — количество выделенной теплоты, Дж;

m — масса раствора, кг (принимается равной массе воды);

c — удельная теплоёмкость воды, 4,183 кДж/ (кг\°С)

ΔT — изменение температуры раствора, °С.

3.3 Оценка коагуляционной эффективности коагулянтов

Для очистки подпиточных и природных вод были изготовлены образцы сплава № 7.1 и сплава № 8.1 с содержанием активирующих добавок от 1,25 до 5 масс. %, и на их основе были получены полиоксихлориды алюминия.

Массовая доля алюминия в пересчете на Al₂O₃ в ПОХА составляет 31,6–32,5 %, основность от 46,92 до 51,5 %.

Оценка коагуляционной эффективности коагулянтов была осуществлена на различных типах воды реки Жайык и Малая Алматинка

Сравнительные результаты анализа подпиточной и природной воды до обработки коагулянтами приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Сравнительные физико-химические показатели подпиточной воды реки Жайык и природной воды реки Малой Алматинки

Показатели	Подпиточные и природные воды			
	Жайык	Жайык	Малая Алматинка	Малая Алматинка
Дата отбора	25.09.2024	21.05.2024	11.10.2024	30.03.2025
Плотность, кг/м³	990	995	995	990
рН	7.40	7.33	7.46	7.52
Электропроводность, mS/cm	497	477	682	1197

Мутность, FNU	183	252	54.7	14.4
Хлориды, мг/дм ³	30.50	18.23	44.24	27.65
Жесткость, мг-экв/дм ³	2.1	1.75	3.0	5.1
Карбонаты, мг/дм ³	5.6	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	219.6	264.3	277.03	536.97
ХПК, мгО/л	280	1000	440	640
Перманентная окисляемость, мгО/дм ³	3.37	1.60	1.81	2.14
Солесодержание, мг/л	216.43	207.54	297.95	809.08

Анализ данных таблицы 3 показал, что подпиточные и природные воды, в целом являются слабощелочными и умеренно жёсткие. В пробе подпиточной воды, отобранных весной, по сравнению с осенью, повышается мутность.

Все исследуемые природные воды по мутности превышают ПДК (рекомендуемые 2,6 по FNU). Весной во время паводков, вызываемых дождями или обильным снеготаянием во время оттепелей, мутность воды значительно увеличивается, содержание солей снижается. Мутность воды для пробы воды, отобранной с Малой Алматинки в зависимости от сезона отбора проб, изменяется от 14,4 до 54,7. В марте-апреле содержание солей увеличивается.

Результаты анализа проб воды после обработки коагулянтами приведены в таблице 4. Контроль качества очищенной воды проводился по показателю мутности, который является ключевым показателем, влияющим на дозировку реагентов и определяющим эффективность процесса очистки. В качестве образцов ПОХА были протестированы коагулянты, разработанные на основе промышленного коагулянта, Аква-Аурат 30. В качестве образцов ПОХА были испытаны также коагулянты на основе промышленного коагулянта марки Аква-Аурат 30.

Таблица 4 - Эффективность снижения мутности подпиточной и природной воды реки Жайык и Малая Алматинка, отобранных в разные сезоны года после обработки коагулянтами К-31 и К-32 в сравнении с Аква-Ауратом 30 до обработки, после обработки и с последующей фильтрацией

Коагулянт К-32								
Дата отбора	Проба воды	Мутность, FNU				Эффективность снижения мутности, %		
		До обработки	После обработки, г/т					
			4	6	8	0.05	0.25	0.5

25.09.2024	Жайык	183	0.55	0.38	0.27	99.69	99.79	99.86
21.05.2024	Жайык	252	0.28	0.28	0.20	99.88	99.88	99.92
10.11.2024	Малая Алматинка	54.7	0.57	0.42	0.28	98.95	99.23	99.48
30.03.2025	Малая Алматинка	14.4	0.74	0.69	0.51	94.86	95.20	96.45
Коагулянт К-31								
25.09.2024	Жайык	183	0.71	0.40	0.24	99.61	99.78	99.86
21.05.2024	Жайык	252	0.59	0.59	0.41	99.76	99.76	99.83
10.11.2024	Малая Алматинка	54.7	0.65	0.46	0.40	98.81	99.15	99.26
30.03.2025	Малая Алматинка	14,4	0.72	0.70	0.39	95.00	95.13	94.29
Коагулянт Аква-Аурат 30								
25.09.2024	Жайык	183	0.94	0.47	0.26	99.48	99.74	99.85
21.05.2024	Жайык	252	0.43	0.48	0.34	99.79	99.80	99.82
10.11.2025	Малая Алматинка	54.7	0.74	0.55	0.43	98.64	98.99	99.21
30.03.2025	Малая Алматинка	14.4	1.13	1.03	0.94	92.15	92.84	93.47

Таблица 5 – Результаты анализа физико-химических проб воды реки Жайык и Малой Алматинки, отобранных в сентябре и в ноябре 2024 года после обработки 0,1 % раствором коагулянта в пересчёте на Al_2O_3

Коагулянт К-32								
Дата отбора 25.09.2024/10.11.2024	До обработки		Проба воды					
			Жайык			Малая Алматинка		
			Доза коагулянта, г/т			Доза коагулянта, г/т		
			4	6	8	0.05	0.25	0.5
Хлориды	30.50	44.24	23.79	23.79	22.87	35.94	33.18	33.18
ХПК	280	440	280	280	240	280	200	160
Жесткость	2.1	3.0	2.07	1.98	1.93	2.90	2.86	2.81
Коагулянт К-31								
Хлорид	30.50	44.24	24.09	24.4	22.87	35.94	35.94	33.18
ХПК	280	440	280	280	240	280	240	160

Жесткость	2,1	3.0	2.01	1.88	1.81	2.84	2.80	2.79
Коагулянт Аква-Аурат 30								
Хлориды	30.50	44.24	24.70	24,70	22.87	35.94	35.94	33.18
ХПК	280	440	280	280	280	320	240	240
Жесткость	2.1	3.0	2.06	2.03	1.96	2.84	2.82	2.81

Таблица 6 – Результаты анализа физико-химических свойств проб воды реки Жайык и Малой Алматинки, отобранных в мае и в марте 2024–2025 года после обработки 0,1 % раствором коагулянта в пересчёте на Al_2O_3

Коагулянт К-32								
Дата отбора 21.05.2024/30.03.2025	До обработки		Проба воды					
			Жайык			Малая Алматинка		
			Доза коагулянта, г/т			Доза коагулянта, г/т		
			4	6	8	0.05	0.25	0.5
Хлориды	18.23	27.65	12.30	12.30	11.84	17.97	16.59	13.82
ХПК	1000	640	240	400	560	280	200	160
Жесткость	1.75	5.10	1.68	1.67	1.64	5.00	5.00	4.93
Коагулянт К-31								
Хлориды	18.23	27.65	13.12	11.84	11.84	13.82	13.82	12.44
ХПК	1000	640	280	320	200	280	200	200
Жесткость	1.75	5.1	1.70	1.66	1.63	5.0	5.0	4.93
Коагулянт Аква-Аурат 30								
Хлориды	18.23	27.65	13.12	12.7	12.57	19.35	17.97	17.97
ХПК	1000	640	400	320	280	360	360	320
Жесткость	1.75	5.1	1.74	1.72	1.68	5.05	5.0	5.0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осуществлен всесторонний анализ научно-технической, зарубежной и отечественной литературы по вопросу очистки природных поверхностных вод

Особое внимание было уделено механизмам действия коагулянтов, их достоинствам и недостаткам, а также перспективам замещения импортных реагентов в Казахстане.

Разработан способ получения полиоксихлорида алюминия на основе многокомпонентных сплавов алюминия, содержащих низкоплавкие металлы Ga, In, Sn в концентрациях от 1,25 до 5,0 масс. %

Исследованы физико-химические характеристики коагулянтов: массовая доля Al_2O_3 (31,67–32,5 %), основность (46,92–51,5 %), pH растворов, тепловой эффект и газовыделение.

Осуществлена оценка эффективности коагулянтов для очистки воды рек Жайык и Малой Алматинки, отобранных в разные сезоны.

Выявлена высокая коагулирующую способность новых полиоксихлоридов алюминия для очистки природной воды в сравнения с Аква-Ауратом 30.

Эффективность снижения мутности достигает 92,15–99,92 %, ХПК–80,0 %, содержание хлор-ионов–55,0 %.

Полученные результаты подтверждают высокую перспективность и конкурентоспособность новых коагулянтов на основе сплавов алюминия благодаря их реакционной способности, простоте синтеза и эффективности очистки. Разработка может способствовать созданию отечественных реагентов для систем водоподготовки Казахстана, снижая зависимость от импорта и минимизируя экологические риски за счёт низкого содержания остаточного алюминия и возможности переработки осадка.

Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992868).

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ – государственный стандарт

ПОХА – полиоксихлорид алюминия

СА – сульфат алюминия

ХПК – химическая потребность кислорода

ХЧ – химический чистый

FNU – formazine nephelometric unit

NTU – nephelometric turbidity unit

pH – pondus hydrogenii

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Fischer D.E., Kuldeev E.I., Bektenov N.A., Atanova O.V., Amanzholova L.U., Toilanbay G.A., Smailov K.M. Research on the application of microwave synthesis to obtain aluminum-containing coagulant // *Combustion and Plasma Chemistry*. – 2023. – Vol. 21, No. 3. – P. 127–138.
3. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Kenzhaliev 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.
4. Баронова А. В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтом оксихлоридом алюминия // *Россия молодая: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (Кемерово, 16–19 апреля 2019 г.)*. – Кемерово: КузГТУ, 2019. – № 70602. – С. 1–4.
5. Matilainen, A., Vepsäläinen, M., Sillanpää, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2015. – Vol. 159. – P. 189–197.
6. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen // *Ecological Applications*. – 2018. – Vol. 8. – P. 559–568.
7. Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters // *Applied Geochemistry*. – 2017. – Vol. 17. – P. 517–568.
8. Flaten, T. P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water // *Brain Research Bulletin*. – 2015. – Vol. 55. – P. 187–196.
9. WHO. Guidelines for drinking-water quality // *World Health Organization*. – 2017. – 4th ed. – 631 p.
10. Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M. Science and technology for water purification in the coming decades // *Nature*. – 2018. – Vol. 452. – P. 301–310.
11. Bratby, J. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment // *IWA Publishing*. – 2016. – 450 p.
12. Crini, G., Lichtfouse, E. Green adsorbents for pollutant removal // *Springer*. – 2018. – 399 p.
13. Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation // *Journal of Hazardous Materials*. – 2015. – Vol. 114. – P. 199–210.
14. Abdel-Raouf, M. E., Maysour, N. E. Using of *Chlorella vulgaris* for wastewater treatment // *Journal of Applied Phycology*. – 2016. – Vol. 28. – P. 135–142.
15. Duan, J., Gregory, J. Coagulation by hydrolysing metal salts // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2018. – Vol. 100. – P. 475–502.

16. Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W. Water treatment: Principles and design // John Wiley & Sons. – 2017. – 1921 p.
17. Yan, M., Wang, D., Ni, J. Effect of polyaluminum chloride on enhanced coagulation // Water Research. – 2015. – Vol. 42. – P. 3691–3699.
18. Zouboulis, A. I., Tzoupanos, N. Polyaluminium chloride as a coagulant for water treatment // Desalination. – 2019. – Vol. 463. – P. 55–63.
19. Letterman, R. D., Amirtharajah, A. Coagulation and flocculation // Water quality and treatment. – 2018. – P. 123–184.
20. Jiang, J. Q. The role of coagulation in water treatment // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2015. – Vol. 8. – P. 36–44.
21. Zhao, H., Liu, H., Qu, J. Preparation and application of activated aluminum-based coagulants // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Vol. 316. – P. 108–116.
22. Yang, Z., Gao, B., Yue, Q. Preparation of activated aluminum coagulants for water treatment // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 236. – P. 297–304.
23. Wang, Y., Gao, B., Yue, Q. Enhanced coagulation with activated aluminum and polyacrylamide // Separation and Purification Technology. – 2018. – Vol. 203. – P. 188–195.
24. Sinha, S., Yoon, Y., Amy, G. Polyaluminum chloride as an alternative coagulant // Journal of Environmental Engineering. – 2017. – Vol. 130. – P. 749–755.
25. Li, J., Liu, H., Chen, J. P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and removal methods // Chemosphere. – 2018. – Vol. 205. – P. 310–321.
26. Ali, I., Gupta, V. K. Advances in water treatment by adsorption technology // Nature Protocols. – 2016. – Vol. 1. – P. 2661–2667.
27. Lee, C. S., Robinson, J., Chong, M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 92. – P. 489–508.
28. Tzoupanos, N., Zouboulis, A. I. Coagulation-flocculation processes in water treatment: A review // Water Science and Technology. – 2017. – Vol. 61. – P. 123–135.
29. Tang, H., Xiao, F., Wang, D. Speciation and transformation of aluminum in drinking water treatment // Chemical Reviews. – 2015. – Vol. 115. – P. 527–559.
30. ГОСТ 4245–72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлорид-ионов.
31. ГОСТ 31954–2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости.
32. ГОСТ 31597–2012. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.
33. ГОСТ 31859–2012. Вода питьевая. Методы определения химического потребления кислорода.
34. ГОСТ Р 55684–2013. Вода питьевая. Методы определения перманганатной окисляемости.
35. ГОСТ 58580–2019. Методы определения массового содержания оксида алюминия и основности полиоксихлорида алюминия.

36. ГОСТ Р 51642–2000. Коагулянты для хозяйственно – питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

(наименование вида работы)

Пулатова Еркебулана Серікұлы

(Ф.И.О. обучающегося)

6B07117 – «Химическая технология нефтегазохимической продукции»

(шифр и наименование ОП)

Тема дипломной работы Пулатова Еркебулана является «Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия».

Пулатов Е.С. провел сравнительный анализ физико-химических характеристик подпиточной воды с водоблока р.Жайык, а также природной воды р.Малая Алматинка до и после обработки реагентами – полиоксихлоридами алюминия на основе многокомпонентных сплавов алюминия, содержащих низкоплавкие металлы Ga, In, Sn в концентрациях от 1,25 до 5,0 масс.%. Целью дипломной работы является изучение современного состояния природных поверхностных вод, подпиточной воды для систем охлаждения на ТОО «АНПЗ», исследовании состава воды, оценки эффективности очистки воды новыми коагулянтами в сравнении с промышленным коагулянтом Аква Ауратом.

Дипломная работа написана на основе широких современных статистических данных и актуальных статей ученых, авторитетных в данной области. Хотелось бы отметить, что Пулатов Е.С. в процессе выполнения дипломной работы осуществил глубокий анализ литературных источников зарубежных исследователей, применил теоретические знания на практике, провел расширенный лабораторный анализ воды, в том числе определил содержания минеральных солей, жесткость, показатели ХПК и перманганатной окисляемости, а также массовое содержание оксида алюминия в коагулянте и его основность.

За время выполнения дипломной работы Пулатов Е.С. соблюдал сроки календарного графика и проявил отличные навыки работы, присущие будущему грамотному специалисту.

В соответствии с вышесказанным, считаю, что Пулатов Е.С. достоин высокой оценки «отлично» - 98 баллов (A+) и присуждения ему академической степени бакалавра по специальности 6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции.

Научный руководитель

д-р хим. наук, профессор

Г.И. Бойко

«02» июня 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Пулатов Еркебулан Серікұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции
(шифр и наименование ОП)

На тему: Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия

Выполнено:

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной теме очистки природных вод с применением реагентов полиоксихлоридов алюминия.

Целью работы является разработка и исследование эффективности коагулянта полиоксихлорида алюминия на основе многокомпонентных сплавов алюминия, содержащих металлы Галлий, Индий, Олово в низких концентрациях для очистки подпиточной и природной воды от взвешенных частиц, органических и неорганических загрязнений.

Структура дипломной работы содержит все необходимые разделы. В литературном обзоре проведен анализ данных литературных источников, обоснована актуальность выбранного направления исследования, показаны современные тенденции в производстве и применении реагентов в водоподготовке и водоочистке. Второй раздел, экспериментальная часть, описывает материалы и методы определения качества природных вод и методики применения коагулянта полиоксихлорида алюминия.

Дипломантом были проведены лабораторные опытные исследования по получению активированных сплавов алюминия, далее на основе полученных сплавов были изготовлены образцы полиоксихлоридов алюминия, которые применяли как коагулянты в водоочистке.

В третьем разделе, результаты и обсуждения, представлены описания синтеза полиоксихлорида алюминия на основе сплавов легких и рассеянных металлов, проведена оценка газовыделения и теплового эффекта при растворении сплава в растворе соляной кислоты и осуществлена оценка эффективности коагулянтов для очистки воды рек Жайык и Малой Алматинки, отобранных в разные сезоны. Все результаты представлены с достаточной степенью достоверности, иллюстрированы графиками и таблицами.

Оценка работы

Практическая ценность работы. Работа имеет прикладной характер и может быть использована при разработке эффективных методов очистки природных вод с учетом сезонных и региональных особенностей состава воды.

Дипломная работа выполнена на высоком уровне, логично структурирована, все разделы взаимосвязаны, поставленные задачи решены, цель достигнута. Автор продемонстрировал высокий уровень подготовки, способность к самостоятельному исследованию и владение современными методами анализа.

Работа соответствует установленным требованиям и заслуживает оценки «отлично (95%)».
Рекомендуется к защите

Рецензент

кандидат тех.наук. Атанова О.В.
(должность, уч. степень, звание)

Атанова Ф. И.О.
(подпись)

« » 2025 г.

Ф КазНТУ 706-17. Рецензия





Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия

Автор

Научный руководитель / Эксперт

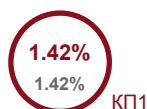
Пулатов ЕркебұланГалина Бойко

Подразделение

ИГИНГД

Объем найденных подобиий

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

6921

Количество слов



KC

50903

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	Б	23
Интервалы	A→	0
Микропробелы	·	9
Белые знаки	Б	1
Парафразы (SmartMarks)	a	8

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 содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия.docx 6/12/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	16 0.23 %
2	http://refleader.ru/geujgbewjgeyfs.html	15 0.22 %

3	https://90zavod.ru/raznoe/sulfat-alyuminiya-koagulyant-kak-primenit-sulfat-alyuminiya-dlya-ochistki-stochnyx-vod-ot-sulfatov-koagulyant-sulfat-alyuminiya-alg-granulirovannyj.html	14 0.20 %
4	https://official.satbayev.university/download/document/15246/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%9D%D1%83%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8B%D0%BC%D0%BE%D0%B2%20%D0%90.pdf	13 0.19 %
5	https://expert-mik.ru/candidate/zakonomernosti-formirovaniya-aktivnyh-centrov-zn-soderzhashhih-czeolitnyh-katalizatorov-i-ih-rol-v-procессе-prevrashheniya-legkih-uglevodorodov/	11 0.16 %
6	Инновационные технологии извлечения соединений серы и цветных металлов из тяжелого углеводородного сырья с использованием нового поколения энергоаккумулирующих веществ 12/12/2024 Satbayev University (ИГиНГД)	9 0.13 %
7	Инновационные технологии извлечения соединений серы и цветных металлов из тяжелого углеводородного сырья с использованием нового поколения энергоаккумулирующих веществ 12/12/2024 Satbayev University (ИГиНГД)	8 0.12 %
8	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия.docx 6/12/2023 Satbayev University (ИГиНГД)	7 0.10 %
9	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия.docx 6/12/2023 Satbayev University (ИГиНГД)	5 0.07 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.65 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия.docx 6/12/2023 Satbayev University (ИГиНГД)	28 (3) 0.40 %
2	Инновационные технологии извлечения соединений серы и цветных металлов из тяжелого углеводородного сырья с использованием нового поколения энергоаккумулирующих веществ 12/12/2024 Satbayev University (ИГиНГД)	17 (2) 0.25 %

из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.77 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	http://refleader.ru/geujgbewjgeyfs.html	15 (1) 0.22 %
2	https://90zavod.ru/raznoe/sulfat-alyuminiya-koagulyant-kak-primenit-sulfat-alyuminiya-dlya-ochistki-stochnyx-vod-ot-sulfatov-koagulyant-sulfat-alyuminiya-alg-granulirovannyj.html	14 (1) 0.20 %

3	https://official.satbayev.university/download/document/15246/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%9D%D1%83%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8B%D0%BC%D0%BE%D0%B2%20%D0%90.pdf	13 (1) 0.19 %
4	https://expert-mik.ru/candidate/zakonomernosti-formirovaniya-aktivnyh-czentrov-zn-soderzhashhih-czeolitnyh-katalizatorov-i-ih-rol-v-procresse-prevrashheniya-legkih-uglevodorodov/	11 (1) 0.16 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---