ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК 544.576; 628.31

ЗЫГМАНТ

Алеся Владимировна

КОАГУЛЯЦИОННО-ФЛОКУЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСИЙ, ОБРАЗУЕМЫХ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИМИ КОАГУЛЯНТАМИ И КОМПОЗИЦИЯМИ НА ИХ ОСНОВЕ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

по специальности 02.00.11 – коллоидная химия

Минск, 2019

Работа выполнена в Белорусском государственном университете и в Учреждении Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

Научный руководитель –	**Гриншпан Дмитрий Давидович,** доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией растворов целлюлозы и продуктов их переработки Учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»
Официальные оппоненты:	**Бильдюкевич Александр Викторович,** академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, директор Государственного научного учреждения «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси»
	Шевчук Вячеслав Владимирович, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, доцент, заведующий лабораторией минеральных удобрений Государственного научного учреждения «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси»
Оппонирующая организация:	Государственное научное учреждение «Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «20» декабря 2019 г. в 14.00 на заседании Совета по защите диссертаций Д 01.20.01 при Государственном научном учреждении «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси».
Адрес: 220072, г. Минск, ул. Сурганова 9/1, тел/факс (+375 17) 332-16-40; 284-27-03, e-mail: secretar@igic.bas-net.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси».

Автореферат разослан « » ноября 2019 г.

Ученый секретарь
Совета по защите диссертаций,
кандидат химических наук Г.В. Бондарева

ВВЕДЕНИЕ

Безопасная и доступная вода — это, прежде всего, здоровье людей, независимо от того, используется ли она для питья, для бытовых нужд или технологических целей. По данным ЮНИСЕФ и ВОЗ каждый третий житель планеты не имеет доступа к безопасной питьевой воде. Основными источниками загрязнений водных объектов являются плохо очищенные стоки производственных предприятий и коммунальных объектов, отходы, образующиеся при разработке полезных ископаемых, сточные воды железнодорожного и водного видов транспорта, техногенные отходы промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Загрязняющие вещества, попадая в водные объекты, вызывают негативные изменения, которые проявляются в изменении физических и химических свойств воды (появление запаха, неприятного привкуса, токсичности и пр.).

Основным процессом очистки воды является ее реагентная обработка. Несмотря на проведение большого количества исследований процесса коагуляции, многие вопросы до сих пор остаются невыясненными: не существует теоретического обоснования подбора коагулянтов, отсутствует единое мнение о механизмах процессов, протекающих при гидролизе коагулянтов, и свойствах образующихся при этом агрегатов, не определены основные причины уменьшения эффективности действия коагулянтов с понижением температуры и т. п. Данная работа посвящена разработке модифицированного способа очистки природных и сточных вод с использованием твердых композиционных реагентов, обеспечивающего повышенное качество очищаемой воды при одновременном упрощении и удешевлении процесса ее очистки. Установление зависимостей характеристик коагуляционных агрегатов от условий их образования, химического состава коагулянта и природы частиц дисперсной фазы позволили целенаправленно разработать новые композиции коагулянтов, оптимизировать условия их введения и добиться максимальной эффективности процесса очистки воды.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190: «2. Химический синтез и продукты»; «10. Экология и природопользование».

Диссертационная работа выполнялась в Учреждении Белорусского государственного университета «НИИ физико-химических проблем» и на кафедре

неорганической химии Белорусского государственного университета в соответствии со следующими заданиями: ГПНИ на 2011–2015 гг. «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал»: задание 1.11 «Моделирование строения водных растворов электролитов и неэлектролитов; очистка питьевых и сточных вод с помощью усовершенствованных технологий и материалов» (2011–2013 гг., № гос. регистрации 20115168); задание 2.74 «Разработка новых композиционных материалов на основе природных полимеров – целлюлозы, лигнина, хитина и их производных» (2014–2015 гг., № гос. регистрации 20141232); ГПНИ на 2016–2020 гг. «Химические технологии и материалы»: задание 4.1.11 «Разработка физико-химических основ получения активированных углей из гидрофобизованного гидролизного лигнина» (2018–2019 гг., № гос. регистрации 20180173); хозяйственных договоров № 12/89-80/10 от 06.12.10 с ОАО «Лунинецкий молочный завод» «Провести научно-исследовательские и опытные работы по разработке способа очистки водяного конденсата вакуум-выпарных установок и стоков ОАО «Лунинецкий молочный завод» (2010–2013 гг., № гос. регистрации 20110193); № 12/52-80/11 от 15.05.2011 г. с УП «Минскводоканал» «Разработать предложения по обеспечению эффективного процесса удаления веществ, формирующих запах воды в теплый период года, и провести лабораторные испытания на ОВС УП «Минскводоканал» (2011 г., № гос. регистрации 20115215); № 12/102-80/11 от 03.10.2011 г. с ООО «Франдеса» «Провести научно-исследовательские и опытные работы по разработке способов очистки сточных вод ООО «Франдеса», содержащих пестициды» (2011–2013 гг., № гос. регистрации 20121045); № 12/02-80/08 от 15.01.2008 г. с РУП «МТЗ» «Провести научно-исследовательские работы по очистке стоков цеха точного стального литья. Выдать рекомендации по осуществлению технологического процесса в производственных условиях» (2010–2013 гг., № гос. регистрации 20123081); № 3002-10/12 от 15.10.2012 г. с ОАО «СветлогорскХимволокно» «Разработка технологии получения коагулянта из отработанной осадительной ванны производства волокна «Арселон» с разработкой рабочей конструкторской документации на нестандартное оборудование (винтовой насос-дозатор)» (2012–2013 гг., № гос. регистрации 20123402); гранта Министерства образования Республики Беларусь «Разработка новых композиционных реагентов для очистки природных и сточных вод» (2014 г., № гос. регистрации 20140779).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – установление влияния состава алюминийсодержащих коагулянтов и композиций на их основе, условий диспергирования, температуры и природы частиц дисперсной фазы на коагуляционно-флокуляционные характеристики дисперсий, образующихся в процессах очистки модельных, природных и сточных вод, и разработка

новых видов композиционных реагентов, позволяющих улучшить качество очищаемой воды, упростить и удешевить процесс водоподготовки.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- установить взаимосвязь между составом коагулянтов, условиями их диспергирования и характеристиками коагуляционных агрегатов, образующихся в результате гидролиза коагулянтов;
- исследовать влияние температуры и величины относительной основности коагулянтов различного состава на скорость осаждения дисперсий гидроксида алюминия, полученных при их гидролизе;
- изучить влияние состава алюминийсодержащих коагулянтов на процесс коагуляции модельных дисперсий, содержащих частицы дисперсной фазы различной природы, и структуру образующихся коагуляционных агрегатов;
- разработать составы и изготовить новые композиционные реагенты для очистки воды, состоящие из двух и более компонентов, установить их массовые и дисперсные составы;
- оценить эффективность действия композиционных реагентов в процессах очистки природных поверхностных и сточных вод различных предприятий (степень их очистки), разработать на основании полученных данных практические рекомендации по проведению процессов коагуляции в производственных условиях.

Объекты исследования: коагулянты на основе соединений алюминия, дисперсии гидроксида алюминия, образующиеся в результате гидролиза коагулянтов, дисперсии каолина и гуминовых соединений в присутствии коагулянтов различной химической природы, композиционные реагенты для очистки воды, природные поверхностные и сточные воды.

Предмет исследования – процесс формирования коагуляционно-флокуляционных агрегатов, происходящий при очистке модельных, природных и сточных вод с помощью алюминийсодержащих коагулянтов и композиций на их основе.

Методы исследования: динамическая лазерная дифракция, спектрометрия в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, оптическая микроскопия, потенциометрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрия, физико-химические методы анализа исходных и очищенных вод.

Научная новизна. Установлена линейная зависимость размеров коагуляционных агрегатов от содержания полиядерных гидроксокомплексов алюминия в коагулянтах при интенсивности диспергирования от 9 до 210 $с^{-1}$. Впервые зафиксирована экстремальная зависимость скорости седиментации дисперсий гидроксида алюминия, полученных из различных коагулянтов, от величины их относительной основности при температурах 275–280 К.

Разработаны составы и изготовлены новые порошкообразные композиции реагентов для очистки природных и сточных вод, содержащие коагулянты, флокулянты, сорбенты и регуляторы pH. Определены массовые и дисперсные составы твердых композиций, позволяющие увеличить степень очистки воды по сравнению с их аналогами (растворами и суспензиями), упростить процесс очистки и уменьшить количество вводимого коагулянта в 1,2–1,5 раза.

Разработан новый коагуляционно-адсорбционный способ очистки многокомпонентных природных и сточных вод, включающий стадии регулирования pH, окисления, коагуляции и флокуляции, отделения осадка центрифугированием, углевания и фильтрации под давлением, применение которого позволяет удалять пестициды с эффективностью 99,6–100 %, и одновременно снижать содержание различных загрязнителей (поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, фенолов и др.) до предельно допустимых концентраций.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Зависимости скоростей седиментации и размеров образующихся коагуляционных агрегатов от содержания полиядерных гидроксокомплексов алюминия в коагулянтах и интенсивности диспергирования, заключающиеся в линейном возрастании размеров агрегатов и повышении скорости их седиментации с увеличением содержания полиядерных гидроксокомплексов алюминия в коагулянтах при интенсивности диспергирования от 9 до 210 $с^{-1}$.

2. Зависимости скоростей седиментации дисперсий гидроксида алюминия от температуры и относительной основности коагулянтов, заключающиеся в увеличении скорости седиментации дисперсий с ростом основности коагулянтов в температурном интервале 293–303 К и экстремальном изменении скорости седиментации при температурах 275–280 К.

3. Зависимость коллоидно-химических характеристик (размера агрегатов и их плотности) модельных дисперсий каолина и гуминовых соединений от состава алюминийсодержащих коагулянтов, заключающаяся в увеличении размеров агрегатов и уменьшении их плотности при переходе от дисперсий индивидуального гидроксида алюминия к его агрегатам с каолином и гуминовыми соединениями в случае сульфата алюминия и уменьшении размеров при сохранении значений плотности агрегатов, образующихся при применении пентагидроксохлорида алюминия.

4. Массовые и дисперсные составы композиционных реагентов на основе порошкообразных коагулянтов, флокулянтов, сорбентов и регуляторов pH, позволяющие увеличить степень очистки воды по сравнению с их аналогами (растворами и суспензиями), упростить процесс очистки и уменьшить количество вводимого коагулянта в 1,2–1,5 раза.

5. Зависимость структуры коагуляционных агрегатов от состава алюминийсодержащих коагулянтов, заключающаяся в образовании в присутствии сульфата алюминия агрегатов с открытой ветвистой структурой, а в присутствии пентагидроксохлорида – агрегатов с плотной и компактной структурой, что позволило объяснить повышение скорости седиментации агрегатов и снижение мутности и цветности модельных дисперсий в присутствии пентагидроксохлорида в сравнении с сульфатом алюминия.

6. Коагуляционно-адсорбционный способ очистки природных и сточных вод сложного состава, включающий стадии регулирования pH, окисления, коагуляции и флокуляции, отделения осадка центрифугированием, углевания и фильтрации, применение которого позволяет удалять пестициды с эффективностью 99,6–100 %, при одновременном снижении концентраций других загрязнителей (поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, фенолов и др.) до предельно допустимых концентраций.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключался в поиске и анализе литературных данных по теме диссертации, выполнении экспериментов, математической обработке полученных данных, подготовке научных публикаций и представлении результатов на конференциях. Планирование экспериментов, анализ полученных результатов, их обобщение и изложение материала в опубликованных работах проводились совместно с научным руководителем профессором, д.х.н. Д.Д. Гриншпаном. В выполнении ряда исследований, обсуждении полученных результатов, подготовке научных публикаций принимали участие профессор кафедры физической химии Белорусского государственного университета, к.х.н. Савицкая Т.А., сотрудники лаборатории растворов целлюлозы и продуктов их переработки НИИ ФХП БГУ в.н.с., к.х.н. Цыганкова Н.Г. и с.н.с. Макаревич С.Е. Контрольный анализ образцов исходной и очищенной воды проводили аккредитованные организации.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, включенные в диссертационную работу, прошли апробацию на Республиканских научных конференциях студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь «НИРС–2011» и «НИРС 2012» (Минск, Беларусь, 2011 и 2012 гг.), Международных научно-технических конференциях «Техника и технология защиты окружающей среды» (Минск, Беларусь, 2011 и 2013 гг.), XIX Молодежной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, Россия, 2012 г.), 6-ой Международной конференции по химии и химическому образованию «Свиридовские чтения 2012» (Минск, Беларусь, 2012 г.), 69- и 70-ой научных конференциях студентов и аспирантов БГУ (Минск, Беларусь, 2012 и 2013 гг.), Belarus-Korea Forum “Innovations in science and technology” (Minsk, Belarus, 2012), Научно-технической конференции «Промышленная экология»

(Минск, Беларусь, 2012 г.), Республиканском семинаре «Инновационные технологии и оборудование для защиты окружающей среды и здоровья человека» (Минск, Беларусь, 2013 г.), Международной научно-практической конференции с участием государств-участников СНГ «Технологические тенденции повышения промышленной экологической безопасности, охраны окружающей среды, рациональной и эффективной жизнедеятельности человека» (Минск, Беларусь, 2013 г.), V Международной конференции Российского химического общества имени Д.И. Менделеева «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности» (Москва, Россия, 2013 г.), Специализированной выставке и Республиканском семинаре «Перспективные направления использования новых материалов» (Минск, Беларусь, 2014 г.), Научно-практической конференции «Направления развития композиционных материалов в Республике Беларусь» (Минск, Беларусь, 2017 г.), II, IX и XI Международных водно-химических форумах (Минск, Беларусь, 2012, 2016 и 2018 гг.)

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликованы 6 статей в научных журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 4,1 авторских листа), 6 статей в других научных журналах и сборниках материалов конференций и 10 тезисов докладов, получен евразийский патент EA 033558, подана заявка на выдачу евразийского патента № 201800449/26. Общее количество опубликованных материалов – 8,1 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав основной части, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 201 страницу, в том числе 48 иллюстраций, 71 таблица и 1 приложение (на 13 страницах). Список библиографических источников на 22 страницах насчитывает 252 наименования, включая 23 публикации соискателя.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** (литературный обзор) проведен анализ литературных данных о гидролизе неорганических соединений алюминия различного состава, рассмотрены современные представления о механизмах коагуляции дисперсных систем и основных факторах, влияющих на процесс их дестабилизации. Описан один из новых подходов к повышению эффективности процесса очистки природных и сточных вод – изготовление композиционных реагентов. Показано, что предложенные композиции, в большинстве своем, являются либо малоэффективными, либо дорогостоящими, и поэтому не при-

годными для очистки больших объемов природных и сточных вод. Обоснована актуальность разработки новых композиций, позволяющих улучшить качество очищаемой воды и упростить процесс водоподготовки.

Во **второй главе** приведены характеристики использованных в работе материалов и реагентов: коагулянтов, флокулянта, активированных углей, фильтровальных материалов. Описаны методики определения фотометрическим методом содержания моно- и полиядерных гидроксокомплексов алюминия в коагулянтах, скорости осаждения дисперсий гидроксида алюминия, полученных в результате гидролиза коагулянтов при различных температурах. Приведены методики исследования методом лазерной дифракции распределений по размерам коагуляционных агрегатов в зависимости от условий диспергирования, температуры и вида частиц дисперсной фазы. Дано описание методик определения основных параметров исследуемых дисперсий до и после обработки реагентами.

Приведены методики получения и исследования дисперсного состава композиционных реагентов и их компонентов. Описаны методики исследования коагулирующей активности композиционных реагентов на модельных дисперсиях и реальных природных и сточных водах. Дано описание синтеза сульфата алюминия из отработанной осадительной ванны производства волокна «Арселон» на ОАО «СветлогорскХимволокно».

Описаны методы расчета скоростного градиента, а также плотности, скорости седиментации, фрактальной размерности агрегатов, констант скоростей процессов агрегации и дезагрегации по данным лазерной дифракции.

В **третьей главе** описано исследование зависимостей параметров образующихся коагуляционных агрегатов и эффективности удаления примесей от химического состава коагулянтов на основе неорганических соединений алюминия и условий их диспергирования. Изучена зависимость характеристик коагуляционных агрегатов от температуры и относительной основности коагулянтов, из которых они были получены. Определены характеристики разработанных композиционных реагентов. Определен массовый и дисперсный состав исходных компонентов и скорость их растворения. Для описания структуры коагуляционных агрегатов проведено сопоставление экспериментально определенных по данным лазерной дифракции величин фрактальной размерности и данных компьютерного моделирования.

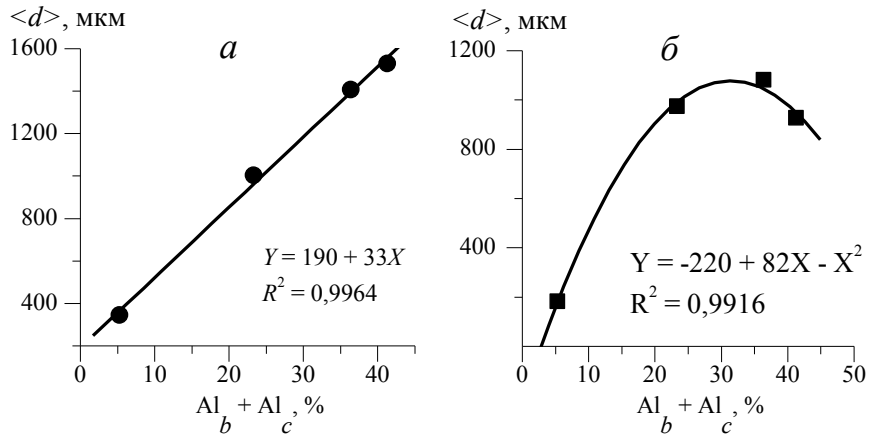
В **четвертой главе** на примере сточных вод различных предприятий Республики Беларусь показана эффективность применения композиционных реагентов в процессах очистки вод сложного состава.

Влияние химического состава и условий введения алюминийсодержащих коагулянтов на характеристики образуемых ими дисперсий.

Спектрофотометрическим методом определено содержание в коагулянтах моно- и полиядерных гидроксокомплексов алюминия. Установлено, что сульфат алюминия (СА, таблица 1) содержит преимущественно моноядерные формы Al_a (95 ± 4 %), полигидроксохлорид АА30 – как моноядерные Al_a (74 ± 4 %), так и полиядерные структуры Al_b (24 ± 3 %), а АА10 и Б50 содержат также высокомолекулярные формы Al_c (23 ± 1 % и 36 ± 1 % соответственно). При этом общее содержание полиядерных гидроксокомплексов Al_b + Al_c закономерно увеличивалось с повышением основности коагулянта [2].

Таблица 1. – Характеристики исследуемых коагулянтов

Название	Обозначение	Формула	Относительная основность *B*, %
Сульфат алюминия	СА	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$, $n = (14 \div 18)$	0
Аква-Аурат 30	АА30	$Al(OH)_{1,3}Cl_{1,7} \cdot nH_2O$, $n = (2 \div 4)$	43
Аква-Аурат 10	АА10	$AlCa_{0,26}(OH)_{2,2}Cl_{1,3}$	73
Полвак-68	П68	$Al(OH)_2Cl$	67
Pro-AQUA SB	Pro-A	$Al_5(OH)_{12}Cl_3$	80
Бриллиант 18	Б18	$Al_2(OH)_5Cl$	83
Бриллиант 50	Б50	$Al_2(OH)_5Cl$	83



***а* – *G* = 9–210 с$^{-1}$; *б* – *G* = 370 с$^{-1}$**

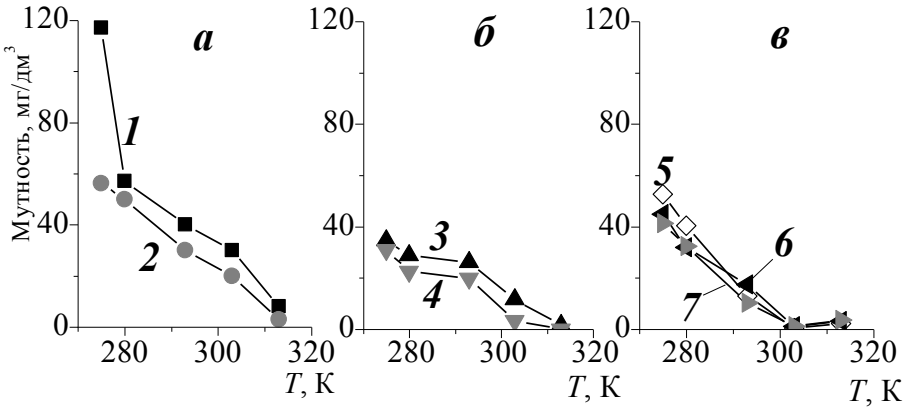
Рисунок 1. – Зависимость среднего диаметра <*d*> агрегатов от содержания полиядерных гидроксокомплексов алюминия (Al_b + Al_c) в коагулянтах при разной интенсивности диспергирования

Размер агрегатов, формирующихся при гидролизе коагулянтов с различной основностью, возрастал с увеличением содержания полиядерных гидроксокомплексов Al_b + Al_c в интервале скоростного градиента 9–210 с$^{-1}$ (рисунок 1). Установлено, что полигидроксохлориды алюминия с высокими значениями относительной основности образуют самые крупные коагуляционные агрегаты, которые осаждаются с более высокой скоростью, чем агрегаты из СА (скорость седиментации 0,004–0,005 м/с и 0,002–0,003 м/с соответственно). Именно этим фактом можно объяснить большую эффективность высокоосновных полигидроксохлоридов по сравнению с СА в большинстве процессов удаления загрязнений из воды [2, 6, 12].

На параметры агрегатов, образующихся при гидролизе коагулянтов, также оказывают влияние условия диспергирования, которые можно характеризовать величиной скоростного градиента *G*. Наиболее крупные агрегаты из СА получены при интенсивности диспергирования 40 $с^{-1}$, агрегаты из полигидроксохлоридов – при 9–40 $с^{-1}$. Увеличение интенсивности диспергирования до 370–210 $с^{-1}$, приводило к уменьшению размеров агрегатов в результате их механического разрушения [2].

Исследование влияния температуры на эффективность действия коагулянтов. В качестве показателя эффективности действия коагулянтов использовали значение мутности дисперсий, полученных в результате их гидролиза, после 10 мин отстаивания, которое характеризовало скорость их седиментации. Исходя из вида полученных температурных зависимостей значений мутности дисперсий все исследованные коагулянты можно разделить на 4 группы в соответствии с величиной их относительной основности (рисунок 2). Установлено, что в интервале температур 293–303 К скорость седиментации дисперсий увеличивается монотонно по мере увеличения относительной основности коагулянтов, в то время как при 275–280 К зависимость скорости седиментации от величины относительной основности носит экстремальный характер с максимальной скоростью седиментации при основности 67–73 % , что позволило рекомендовать в реальных условиях водоочистной станции использование высокоосновных коагулянтов (80–83 %) в теплое время года (> 280 К) и среднеосновных (67–73 %) коагулянтов в холодной время года с температурой воды до 280 К [1, 14, 16].

На основе данных лазерной дифракции установлено, что при температурах 277 и 281 К с увеличением значения относительной основности коагулянтов размер агрегатов изменялся экстремально: возрастал при переходе от СА (280 ± 30 мкм) к полигидроксохлориду с основностью 73 % АА10 (1500 ± 70 мкм), а затем уменьшался при переходе к пентагидроксохлориду Б50 с основностью 83 % (1260 ± 80 мкм). Таким же образом изменялась скорость седиментации, рассчитанная по данным лазерной дифракции: наибольшей скоростью седиментации харак-



1 **– СА;** ***2*** **– АА30;** ***3*** **– П-68;** ***4*** **– АА10;** ***5*** **– Pro-A;** ***6*** **– Б18;** ***7*** **– Б50**

Рисунок 2. – Зависимость мутности дисперсий гидроксида алюминия при *t* = 10 мин от температуры

теризовались агрегаты, полученные при гидролизе коагулянта с промежуточной величиной основности 73 % АА10. При температуре 293 К увеличение основности приводило к возрастанию размеров и скорости седиментации агрегатов. Данные, полученные разными методами, согласуются между собой: чем выше рассчитанные по данным лазерной дифракции значения скорости седиментации агрегатов, тем быстрее уменьшалась мутность дисперсий гидроксида во времени, определенная фотометрическим методом [1, 14].

Поскольку при температурах 293–303 К параметры агрегатов коррелируют с величиной основности коагулянта, можно предположить, что в этом диапазоне увеличение основности и содержания полиядерных гидроксокомплексов в коагулянте способствует формированию более крупных агрегатов, обладающих высокой скоростью седиментации. В производственных условиях это должно приводить к увеличению скорости образования осадка и его отделения от осветленной воды. При температурах 275–280 К наибольшей эффективностью обладали коагулянты с промежуточной величиной относительной основности 67–73 %. Это объясняется меньшим содержанием в их составе полиядерных гидроксокомплексов в сравнении с высокоосновными полигидроксохлоридами. В этом вслучае в результате гидролиза образуются менее крупные первичные коллоидные частицы, обладающие более высокой скоростью агрегации на начальных этапах процесса коагуляции [1].

Влияние состава алюминийсодержащих коагулянтов на характеристики дисперсий каолина и гуминовых соединений. Согласно данным таблицы 2, размер коагуляционных агрегатов <*d*> при использовании СА увеличивается при переходе от дисперсий гидроксида алюминия к дисперсиям его агрегатов с каолином и гуминовыми соединениями (ГС), а в случае применения пентагидроксохлорида Б50 наблюдается обратная зависимость – размеры агрегатов уменьшаются. В то же время плотность коагуляционных агрегатов ρ в случае СА снижается при переходе от дисперсий гидроксида алюминия к дисперсиям смешанных агрегатов с каолином и ГС, а в случае пентагидроксохлорида – практически не изменяется [3, 4, 10].

Таблица 2. – Характеристики дисперсий каолина и ГС в присутствии СА и Б50

Состав дисперсии	<*d*>, мкм	ρ, кг/м^3
Каолин	5,4 ± 0,2	1820 ± 50
ГС	70 ± 10	1130 ± 10
СА	350 ± 30	1036 ± 2
СА + каолин	640 ± 50	1009 ± 2
СА + ГС	800 ± 70	1006 ± 1
Б50	1530 ± 30	1001 ± 1
Б50 + каолин	1490 ± 30	1002 ± 1
Б50 + ГС	1180 ± 60	1002 ± 1

Полученные данные позволяют предположить, что в случае СА коагуляция модельных дисперсий протекает путем захвата частиц каолина и ГС агрегатами гидроксида алюминия, что приводит к увеличению размеров агрегатов по сравнению с дисперсией

индивидуального гидроксида алюминия. Для агрегатов, полученных в присутствии пентагидроксохлорида, наиболее вероятен механизм другой механизм – гетерокоагуляция, происходящая за счет

электростатического взаимодействия продуктов гидролиза коагулянта и дисперсных частиц. Этот механизм приводит не к увеличению, а к уменьшению размеров агрегатов по сравнению с дисперсией индивидуального гидроксида алюминия. Наиболее вероятно, что в этом случае происходит «встраивание» малых агрегатов каолина и ГС в большие агрегаты гидроксида алюминия, образующиеся при гидролизе пентагидроксохлорида [3, 4, 10].

Дисперсный состав и свойства композиционных реагентов. Разработаны новые составы композиционных реагентов, получаемых путем смешения порошкообразных коагулянтов, флокулянтов, сорбентов и регуляторов pH с различной степенью дисперсности [5, 9, 11, 15].

Для сравнения эффективности действия твердых композиционных с растворенными реагентами было проведено исследование процессов коагуляции модельных дисперсий ГС (таблица 3). Агрегаты, полученные при обработке модельной дисперсии ГС композиционным реагентом, характеризовались более высокой скоростью седиментации, а сама дисперсия после коагуляции – более низкими значениями мутности и цветности.

При коагуляции дисперсий ГС с высоким содержанием дисперсных частиц (мутность 40,0 ± 0,3 мг/дм^3, цветность > 100 град) с использованием композиционного реагента (СА – флокулянт «Magnafloc LT 22») и водных растворов этих же реагентов была достигнута одинаковая степень очистки (мутность 0,2 ± 0,1 мг/дм^3, цветность 15 ± 2 град). Но при этом доза коагулянта в композиционном реагенте была в 1,5 раза меньшей, чем в случае растворенных реагентов (30 и 50 мг/дм^3 соответственно). Аналогичные результаты получены и при коагуляции дисперсии каолина. Отсюда можно сделать вывод, что в сравнении с растворенными реагентами применение композиционных реагентов позволяет увеличить скорость седиментации коагуляционных агрегатов, улучшить показатели обработанной дисперсии или существенно снизить расход коагулянта при сохранении качества очистки воды [5, 9, 11, 15].

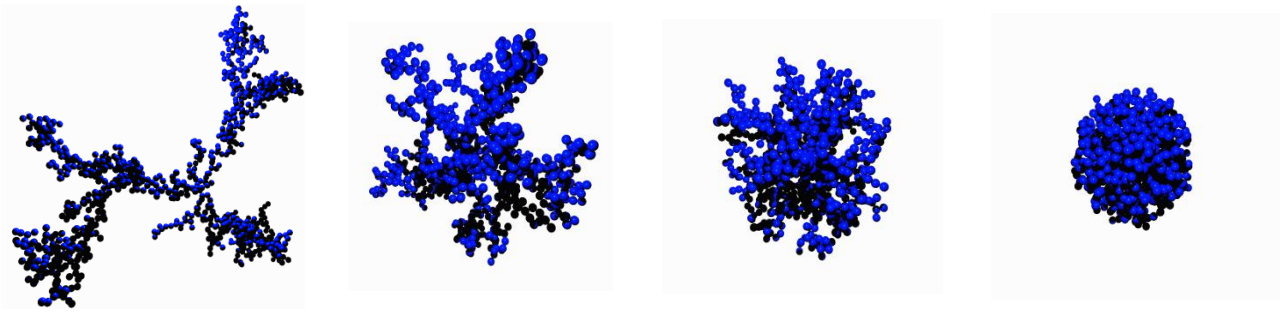
Таблица 3. – Сравнение параметров дисперсии ГС в присутствии композиционного реагента и растворов коагулянта Б50 и флокулянта «Magnafloc LT 22»

Вид реагента	pH	<*d*>, мкм	$u \cdot 10^3$, м/с	Мутность, мг/дм^3	Цветность, град
ГС	8,2 ± 0,2	70 ± 10	0,4 ± 0,1	12 ± 1	310 ± 40
Раств. 20 : 1	7,8 ± 0,1	1280 ± 70	3,7 ± 0,4	0,67 ± 0,06	16 ± 2
Тв. 20 : 1	7,7 ± 0,1	1400 ± 60	4,0 ± 0,4	0,28 ± 0,06	12 ± 2

Фрактальные свойства коагуляционных агрегатов. Сопоставление экспериментально определенных методом лазерной дифракции величин фрактальной размерности D_f. и данных компьютерного моделирования позволило охарактеризовать структуру коагуляционных агрегатов, образованных продуктами гидролиза различных коагулянтов и каолином и ГС (таблица 4, рисунок 3). С увеличением значения рактальной размерности плотность упаковки частиц в агрегатах закономерно возрастает. Так, частицы ГС (D_f = 1,9÷2,0) и смешанные агрегаты СА + каолин (D_f = 2,12 ± 0,01) имеют ветвистую форму, а частицы дисперсии гидроксида алюминия, образующейся в результате гидролиза пентагидроксохлорида Б50 ($D_f \approx 2{,}6$), а также из его смеси с ГС, представляют собой плотные и компактные агрегаты [3, 4, 10].

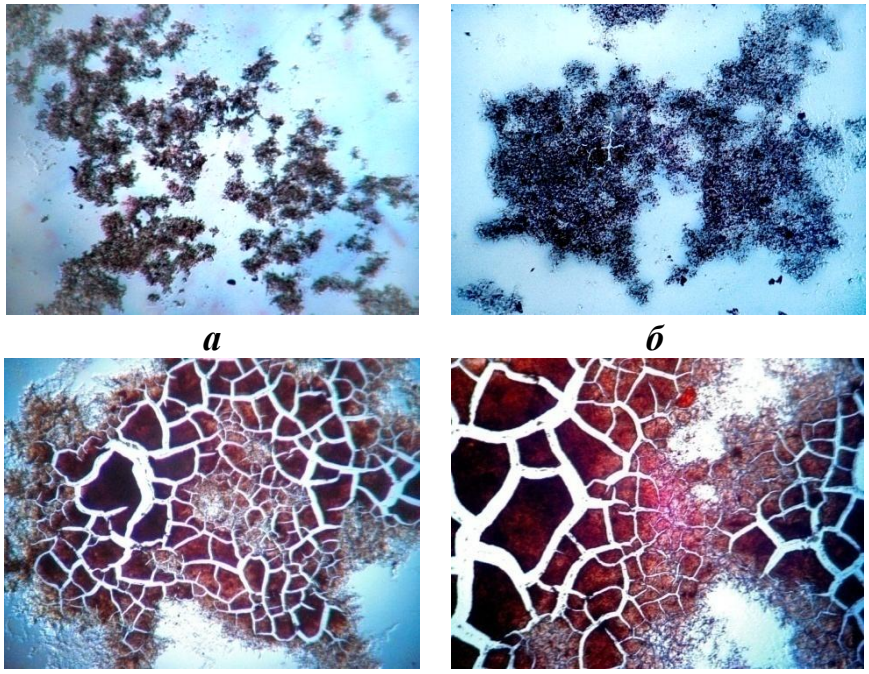
Таблица 4. – Величина фрактальной размерности агрегатов для различных систем

Система	D_f	Система	D_f
ГС	1,93 ± 0,02	Б50 + Каолин	2,32 ± 0,02
СА + Каолин	2,12 ± 0,01	Каолин	2,43 ± 0,04
СА	2,23 ± 0,02	Б50 + ГС	2,47 ± 0,02
СА + ГС	2,31 ± 0,02	Б50	2,59 ± 0,02



***D_f* = 1,75** **D_f = 2,1** **D_f = 2,3** **D_f = 2,6**

Рисунок 3. – Результаты моделирования агрегатов с различной величиной фрактальной размерности



а ***б*** ***в*** ***г***

***а* – Б50, увеличение 480х; *б* – Б50, увеличение 960х;**
***в* –композиционный реагент, увеличение 480х;**
***г* – композиционный реагент, увеличение 960х**

Рисунок 4. – Изображения коагуляционных агрегатов, полученные с помощью оптического микроскопа

С помощью оптического микроскопа получены изображения

агрегатов ГС, образовавшихся при обработке сточных вод торфяной фабрики пентагидроксохлоридом Б50 и композиционным реагентом Б50–флокулянт (рисунок 4). Для этих же агрегатов была определена фрактальная размерность D_f. В случае использования только пентагидроксохлорида Б50 образуются плотные агрегаты с D_f = 2,28, а в случае композиционного реагента – агрегаты с D_f = 2,11 и открытой ветвистой структурой. Такая структура позволяет формировать более крупные агрегаты на завершающих стадиях процесса очистки. Данные оптической микроскопии подтверждают результаты компьютерного моделирования агрегатов [5].

Примеры использования полученных результатов в процессах очистки природных и сточных вод. На примере образцов сточных вод предприятий Республики Беларусь: ООО «Франдеса», ИООО «ВМГ Идустри», ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат», ОАО «ТБЗ Усяж», ОАО «Молодеченский молочный комбинат», ОАО «Лунинецкий молочный завод», ОАО «Минский молочный завод № 1», – показана возможность применения композиционных реагентов в процессах очистки воды для удаления взвешенных, поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, снижения значений химического и биологического потребления кислорода, а также для удаления опасных органических загрязнителей таких как фенолы, формальдегид, пестициды и др. [5, 7– 9, 11, 13, 16–23].

Для очистки многокомпонентных сточных вод, содержащих пестициды, был пред ложен комбинированный многостадийный коагуляционно-адсорбционный метод очистки, включающий стадии регулирования pH, окисления, коагуляции с помощью композиционного реагента, отделения осадка, сорбции и фильтрации [5, 23]. Разработанный метод очистки позволил снизить ХПК очищенных образцов в 30 раз, $БПК_5$ – в 40 раз, уменьшить концентрацию нефтепродуктов, анионных ПАВ, сульфатов и фосфат-ионов. Эффективность удаления пестицидов составила 99,6–100 % (таблица 5).

Таблица 5. – Содержание пестицидов в сточных водах ООО «Франдеса» до и после очистки

Пестицид	**Концентрация, мг/дм^3**		**Эффективность очистки, %**	**ПДК, мг/дм^3**
	исходная	**после очистки**		
Пропиконазол	3,70	0,012	99,6	0,150
Изопротурон	26,8	0,019	99,9	0,090
Метамитрон	7,50	н. о.	100	0,300
Метазахлор	3,50	н. о.	100	0,002
Дифлюфеникан	5,80	н. о.	100	0,150
Имидаклоприд	0,660	н. о.	100	0,002

Испытания композиционных реагентов были также проведены на поверхностных водах Минско-Вилейской системы в лаборатории очистной водопроводной станции УП «Минскводоканал». Исследование проводили методом

пробного коагулирования путем сравнения композиционных реагентов со стандартной технологией последовательного введения растворов коагулянта и флокулянта (таблица 6).

Таблица 6. – Результаты очистки природных поверхностных вод с помощью композиционного реагента и водных растворов коагулянта и флокулянта (стандартная технология)

Параметр	Исходная вода	Очищенная вода		Предельно допустимые величины
		Композиционный реагент	Стандартная технология	
pH	7,9	7,8	7,8	6-9
Мутность, мг/дм^3	3,2	0,5	0,6	1,5
Цветность, град	24	13	12	20
Перманганатная окисляемость, мг O_2/дм^3	6,1	4,5	4,5	5
Остаточный Al, мг/дм^3	–	0,08	0,2	0,5

Сравнение результатов показало, что предложенный метод очистки с применением композиционного реагента обладает несомненным преимуществом, поскольку позволяет в 2,5 раза снизить содержание остаточного алюминия в очищенной воде [5, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено систематическое исследование влияния химического состава алюминийсодержащих коагулянтов, условий их диспергирования, температуры среды и вида частиц дисперсной фазы на характеристики образующихся коагуляционных агрегатов. Разработаны и изготовлены новые составы композиционных реагентов для очистки воды, определены условия их применения в процессах удаления из воды различных видов загрязнителей. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что коагуляционно-флокуляционные характеристики дисперсий гидроксида алюминия определяются составом исходных коагулянтов и условиями их диспергирования, при которых происходит растворение, гидролиз и формирование первичных частиц гидроксида алюминия. Размер агрегатов, формирующихся из коагулянтов с различной основностью, линейно возрастает от 230 до 1530 мкм с увеличением содержания полиядерных гидроксокомплексов алюминия в коагулянте в интевале значений скоростного градиента 9–210 с$^{-1}$. Высокоосновные коагулянты с большим содержанием полиядерных гидроксокомплексов (до 40 %) образуют наиболее крупные агрегаты, для которых характерна и более высокая скорость седиментации. Увеличение интенсивности диспергирования до 370 с$^{-1}$ приводит к уменьшению размеров агрегатов в результате их механического разрушения [2, 6, 12].

2. Установлено, что в интервале температур 293–303 К скорость седиментации дисперсий гидроксида алюминия закономерно увеличивается по мере роста относительной основности коагулянтов, из которых они были получены. При 275–280 К зависимость скорости седиментации от величины относительной основности носит экстремальный характер. Максимальная скорость седиментации характерна для коагулянтов с основностью 67–73 %, что позволило рекомендовать в реальных условиях водоочистной станции использование высокоосновных коагулянтов (80–83 %) в теплое время года и среднеосновных (67–73 %) коагулянтов в холодное время года с температурой воды до 280 К [1, 14, 16].

3. Установлено, что размеры коагуляционных агрегатов при использовании сульфата алюминия увеличиваются при переходе от дисперсий гидроксида алюминия к дисперсиям его агрегатов с каолином и гуминовыми соединениями от 350 мкм до 640 и 800 мкм соответственно, а в случае применения пентагидроксохлорида алюминия наблюдается обратная зависимость – уменьшение размеров агрегатов с 1530 мкм до 1490 и 1180 мкм соответственно. Плотность коагуляционных агрегатов в случае сульфата алюминия уменьшается при переходе от дисперсий гидроксида алюминия к дисперсиям смешанных агрегатов с каолином и гуминовыми соединениями с 1036 кг/м^3 до 1009 и 1006 кг/м^3 соответственно, а в случае пентагидроксохлорида алюминия – практически не изменяется. Противоположные зависимости свойств агрегатов от состава исходных коагулянтов свидетельствуют о различных механизмах дестабилизации модельных дисперсий: в присутствии сульфата алюминия реализуется механизм захвата частиц дисперсной фазы осадком гидроксида алюминия, в случае пентагидроксохлорида – гетерокоагуляция за счет электростатического взаимодействия продуктов гидролиза коагулянтов и частиц дисперсий [3, 4, 10].

4. Разработаны составы и изготовлены композиционные реагенты, содержащие порошкообразные коагулянты сульфат алюминия и полигидроксохлориды алюминия с относительной основностью 43–83 %, флокулянты на основе полиакриламида при их массовом соотношении от 5 : 1 до 20 : 1, сорбенты и регуляторы pH. Для достижения последовательного действия реагентов при введении в очищаемую воду частицы коагулянта должны иметь степень дисперсности от 0,006 мкм$^{-1}$ до 0,016 мкм$^{-1}$, флокулянта – 0,003 мкм$^{-1}$, сорбента – 0,02–0,05 мкм$^{-1}$, регулятора pH – 0,008 мкм$^{-1}$. Показано, что использование композиционных реагентов позволяет увеличить скорость седиментации коагуляционных агрегатов и степень очистки относительно их водных аналогов (предварительно растворенных или суспензированных реагентов), упростить процесс очистки (уменьшить количество технологических стадий введения реагентов с 2–3 до 1), а также

уменьшить количество вводимого коагулянта в 1,2–1,5 раза [5, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 22].

5. Показано, что при введении сульфата алюминия в модельные дисперсии каолина и гуминовых соединений образуются агрегаты с фрактальной размерностью 2,12–2,32, что свидетельствует о низкой плотности упаковки частиц и об открытой ветвистой структуре агрегатов. В случае использования пентагидроксохлорида происходит образование плотных и компактных агрегатов, на что указывает более высокое значение фрактальной размерности 2,32–2,59. Это позволило объяснить повышение скорости седиментации агрегатов и снижение мутности и цветности модельных дисперсий в случае использования пентагидроксохлорида в сравнении с сульфатом алюминия [3, 4, 10].

6. Разработан новый коагуляционно-адсорбционный способ очистки природных и сточных вод сложного состава, включающий стадии регулирования pH, окисления перманганатом калия, обработки с помощью композиционного реагента, отделения осадка, сорбции и фильтрации, применение которого позволяет удалять пестициды с эффективностью 99,6–100 %. На примере природных поверхностных, а также реальных сточных вод предприятий Республики Беларусь: ООО «Франдеса», ИООО «ВМГ Идустри», ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат», ОАО «ТБЗ Усяж», ОАО «Молодеченский молочный комбинат», ОАО «Лунинецкий молочный завод», ОАО «Минский молочный завод № 1», – показано, что применение композиционных реагентов в процессах очистки сточных вод позволяет снизить содержание взвешенных веществ до 2 мг/дм^3, поверхностно-активных веществ до 0,04 мг/дм^3, нефтепродуктов до 0,05 мг/дм^3, значения химического и биологического потребления кислорода до 40 и 50 мг O_2/дм^3 соответственно, а содержание таких опасных органических загрязнителей как фенолы, формальдегид и др. уменьшить до предельно допустимых концентраций [5, 7, 8, 13, 17–23].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в ходе исследования результаты были использованы при разработке методики получения гидроксида алюминия из солей алюминия различного состава, которая внедрена на кафедре неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета путем ее применения в лабораторном практикуме «Неорганическая химия» для студентов 1 курса (акт о внедрении в учебный процесс от 01.10.2012 г.).

Для УП «Минскводоканал» выданы рекомендации по оптимизации существующей на очистной водопроводной станции промышленной технологии реагентной обработки воды для удаления веществ, формирующих

неприятные запахи в теплый период года, что позволило значительно повысить эффективность удаления веществ, формирующих запах воды, и снизить содержание остаточного алюминия в очищенной воде (акт об использовании результатов НИР от 31.03.2014 г.)

Результаты диссертационной работы были использованы при разработке опытно-промышленного технологического регламента получения коагулянта сульфата алюминия для производства мощностью 11 400 т в год. Создание на ОАО «СветлогорскХимволокно» промышленного производства коагулянта позволило реализовать экономически эффективный способ утилизации отработанной осадительной ванны производства волокна «Арселон», отказаться от закупки коагулянта для собственных нужд предприятия и создать коммерческий продукт, востребованный на рынке. В период с 2013 по 2018 гг. объем выпуска и реализации коагулянта сульфата алюминия составил 21 620 т (4 акта об использовании результатов НИОКР).

По разработанным лабораторным рецептурам на ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» произведена наработка опытно-промышленных партий композиционных реагентов (акт наработки опытно-промышленных партий композиционных реагентов от 24.06.2019 г.).

По результатам проведенных исследований получен патент ЕА 033558 «Способ очистки водных растворов, содержащих пестициды», подана заявка на выдачу евразийского патента № 201800449/26 «Твердые композиционные реагенты для очистки водных растворов и способ их применения».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в журналах и рецензируемых сборниках

1. Основные факторы, определяющие эффективность действия неорганических коагулянтов при различных температурах / А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Свиридовские чтения: Сб. ст. – 2015. – Вып. 11. – С . 41–50.

2. Влияние состава и условий диспергирования алюминийсодержащих коагулянтов на характеристики образуемых ими дисперсий / А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. Хім. навук. – 2016. – № 1. – С. 27–32.

3. Влияние состава алюминийсодержащих коагулянтов на коллоидно-химические характеристики дисперсий каолина / А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2017. – № 1. – С. 49–56.

4. Влияние состава алюминийсодержащих коагулянтов на коллоидно-химические характеристики дисперсий гуминовых веществ / А.В. Зыгмант [и др.] // Журн. Белорус. гос. ун-та. Химия. – 2017. – № 1. – С. 65–73.

5. Композиционные реагенты для очистки воды / Д.Д. Гриншпан, А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, С.Е. Макаревич // Свиридовские чтения: Сб. ст. – 2017. – Вып. 13. – С. 60–82.

6. Коллоидно-химические характеристики дисперсий гидроксида алюминия в зависимости от состава и способа введения регулятора pH / Р.А. Анушко, А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Журн. Белорус. гос. ун-та. Химия. – 2019. – № 1. – С. 22–31.

Статьи в материалах научных конференций

7. Исследование влияние влажности угольных сорбентов на эффективность их использования в процессах водоподготовки / М.Г. Иванец, А.В. Зыгмант, Д.Д. Гриншпан // Техника и технология защиты окружающей среды: Материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 26-27 октября 2011 г. / редкол. И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2011. – с.110–113,

8. Очистка поверхностных вод Минско-Вилейской системы / А.В. Зыгмант, А.В. Матвеев, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // II Международный водно-химический форум: Сборник материалов, Минск, 15-17 мая 2012 г. / Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси; ОАО «Белэнергоремналадка»; ред. коллегия А.В. Бильдюкевич [и др.]. – Минск, 2012. – С. 121–127.

9. Композиционные реагенты для очистки воды / А.В. Зыгмант, С.Е. Макаревич, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Техника и технология защиты окружающей среды: материалы доклад Международной научно-технической конференции, Минск, 9–11 октября 2013 г. / БГТУ; ред. коллегия И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2013. – С. 10–13.

10. Исследование процесса коагуляции дисперсий каолина и гуминовых соединений солями алюминия [Электронный ресурс] / А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Материалы Международного водно-химического форума : г. Минск, 17–19 мая 2016 г. / редколлегия: А. В. Бильдюкевич (главный редактор) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 44–49. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

11. Композиционные реагенты для очистки воды / Д.Д. Гриншпан, А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, С.Е. Макаревич // Нефтехимический комплекс: научно-технический бюллетень: приложение к журналу "Вестник Белнефтехима". – 2017. – Т. 16, № 1 – С. 16–18.

12. Сравнительная характеристика коагулирующей способности порошкообразных и растворенных солей алюминия в зависимости от способа введения регулятора pH [Электронный ресурс] / Р.А. Анушко, А.В. Зыгмант, Т.А. Савицкая, Н.Г. Цыганкова, Д.Д. Гриншпан // Материалы Международного водно-химического форума : г. Минск, 22–25 мая 2018 г. / редколлегия: А. В.

Бильдюкевич (главный редактор) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 7–14. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Тезисы докладов

13. Очистка природных и сточных вод с помощью композиционных реагентов / А.В. Зыгмант, Д.Д. Гриншпан // «НИРС–2011»: Сб. тезисов докладов Республиканской научной конференции студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь, Минск, 18 октября 2011 / редкол. С.В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2011 – с.147.

14. Влияние температуры и состава на коагуляционные свойства солей алюминия [Электронный ресурс] / Зыгмант А.В. // Материалы XIX Молодежной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», Москва, 9-13 апреля 2012 г. / отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, М.В. Чистякова. – Москва, 2012. – С. 460 – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).

15. Novel composition regents for water treatment / A.V. Zyhmant, N.G. Tsygankova, D.D. Grinshpan // «Sviridov Readings 2012»: 6th Intern. Conf. On Chemistry and Chemical Education : Book of Abstr., Minsk, 9-13 April / editorial board E.I. Vasilevskaya [et al.]. – Minsk, 2012 – p. 37.

16. Influence of aluminum composition on their coagulation efficiency / A.V. Zyhmant, N.G. Tsygankova, D.D. Grinshpan // «Sviridov Readings 2012»: 6th Intern. Conf. On Chemistry and Chemical Education : Book of Abstr., Minsk, 9-13 April / editorial board E.I. Vasilevskaya [et al.]. – Minsk, 2012 – p. 37.

17. Natural and waste water treatment with the help of composite reagents / A.V. Zyhmant, N.G. Tsygankova, D.D. Grinshpan // Materials of Belarus-Korea Forum “Innovations in science and technology”, Minsk, 25-26 June, 2012. – Minsk, 2012. – P. 75–76.

18. Применение новых композиционных реагентов для очистки сточных вод предприятий / Зыгмант А.В., Макаревич С.Е., Цыганкова Н.Г., Гриншпан Д.Д. // Промышленная экология : тезисы докладов научно-технической конференции, 13 – 14 сентября 2012 г. – Минск : БНТУ, 2012. – С. 30–31.

19. Коллоидно-химические аспекты очистки природных и сточных вод с помощью композиционных реагентов / А.В. Зыгмант, Д.Д. Гриншпан // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2012» / редкол. С.В. Абламейко [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – С. 44–45.

20. Новые подходы в области очистки природных и сточных вод / Зыгмант А.В., Макаревич С.Е., Цыганкова Н.Г., Гриншпан Д.Д. // Международная научно-практическая конференция с участием государств-участников СНГ «Тенологические тенденции повышения промышленной экологической безопасности, охраны окружающей среды, рациональной и эффективной

жизнедеятельности человека»: тезисы докладов, Минск, 15-16 мая 2013 г. / ГУ «БелИСА»; орг. комитет А.А. Сильченко [и др.]. – Минск, 2013. – С. 183–187.

21. Композиционные реагенты для очистки природных и сточных вод / А.В. Зыгмант // Конкурс проектов молодых ученых: тезисы докладов, Москва, 29 октября 2013 г. / РХТУ им. Д.И. Менделеева; орг. комитет С.В. Голубков [и др.]. – Москва, 2013. – С. 17–18.

22. Композиционные реагенты для очистки природных и сточных вод / А.В. Зыгмант, Д.Д. Гриншпан // V Международная конференция Российского химического общества имени Д.И. Менделеева «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности»: тезисы докладов, Москва, 29-30 октября 2013 г. / РХО им. Д.И. Менделеева, РХТУ им. Д. И. Менделеева; ред. коллегия А.Ю. Цивадзе [и др.]. – Москва, 2013. – С. 199–200.

Патент

23. Способ очистки водных растворов, содержащих пестициды : пат. ЕА 033558 / Д.Д. Гриншпан, А.В. Зыгмант, С.В. Макаревич, Н.Г. Цыганкова, Т.А. Савицкая. – Опубл. 31.10.2019.

РЕЗЮМЕ

Зыгмант Алеся Владимировна

Коагуляционно-флокуляционные свойства дисперсий, образуемых алюминийсодержащими коагулянтами и композициями на их основе в процессах очистки модельных, поверхностных и сточных вод

Ключевые слова: композиционные реагенты, коагулянты, сульфат алюминия, полигидроксохлориды алюминия, относительная основность, скорость седиментации, каолин, гуминовые соединения, фрактальная размерность, очистка воды.

Цель диссертационной работы – установление влияния состава алюминийсодержащих коагулянтов и композиций на их основе, условий диспергирования, температуры и природы частиц дисперсной фазы на коагуляционно-флокуляционные характеристики дисперсий, образующихся в процессах очистки модельных, природных и сточных вод, разработка новых видов композиционных реагентов, позволяющих улучшить качество очищаемой воды, упростить и удешевить процесс водоподготовки.

Методы исследования: динамическая лазерная дифракция, спектрометрия в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, оптическая микроскопия, потенциометрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрия, физико-химические методы анализа исходных и очищенных вод.

Определены зависимости между химическим составом коагулянтов на основе соединений алюминия, их относительной основностью, содержанием моно- и полиядерных гидроксокомплексов алюминия, условиями диспергирования, температурой и природой частиц модельных дисперсий и параметрами образующихся коагуляционных агрегатов и их влиянием на эффективность очистки. Разработаны и изготовлены новые композиции реагентов для очистки природных и сточных вод, содержащие порошкообразные коагулянты, флокулянты, сорбенты и регуляторы pH. Установлено, что скорость седиментации коагуляционных агрегатов и степень очистки модельных дисперсий при использовании твердых композиционных реагентов выше, чем в случае водных растворов и суспензий. Определены массовые и дисперсные составы компонентов, позволяющие достигать требуемую степень очистки воды. Разработан новый коагуляционно-адсорбционный способ очистки природных и сточных вод, содержащих различные загрязнители и их смеси: пестициды, фенолы, формальдегид, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты и другие.

РЭЗЮМЭ

Зыгмант Алеся Ўладзіміраўна

Каагуляцыйна-флокуляцыйныя ўласцівасці дысперсій, якія ўтвараюцца алюмініевымі каагулянтамі і кампазіцыямі на іх аснове ў працэсах ачысткі мадэльных, паверхневых і сцёкавых вод

Ключавыя словы: кампазіцыйныя рэагенты, каагулянты, сульфат алюмінію, полігідроксахларыды алюмінію, адносная асноўнасць, хуткасць седыментацыі, каалін, гумінавые злучэнні, фрактальная памернасць, ачыстка вады.

Мэта працы – ўсталяванне ўплыву складу алюміневых каагулянтаў і кампазіцый на іх аснове, умоў дзіспергіравання, тэмпературы і прыроды часціц дысперснай фазы на каагуляцыйна-флокуляцыйныя характарыстыкі дысперсій, якія ўтвараюцца ў працэсах ачысткі мадэльных, прыродных і сцёкавых вод; распрацоўка новых відаў кампазіцыйных рэагентаў, якія дазваляюць палепшыць якасць ачышчанай вады, спрасціць і зрабіць таннейшым працэс водападрыхтоўкі.

Метады даследавання: дынамічная лазерная дыфракцыя, спектраметрыя ў ўльтрафіялетавым і бачным дыяпазонах, аптычная мікраскапія, патенціаметрыя, дыферэнцыяльная сканавальная каларыметрыя, термагравіметрыя, фізіка-хімічныя метады анлізу зыходных і вычышчаных вод.

Усталяваны залежнасці паміж хімічным складам каагулянтаў на аснове злучэнняў алюмінія, іх адноснай асноўнасці, зместам мона- і поліядзерных гидроксакомплексаў алюмінія, умовамі дзіспергіравання, тэмпературай і прыродай часціц мадэльных дысперсій і параметрамі ўтворанных каагуляцыйных агрэгатаў і іх уплывам на эфектыўнасць ачысткі. Распрацаваны і выраблены новыя кампазіцыі рэагентаў для ачысткі прыродных і сцёкавых вод, якія змяшчаюць парашкападобныя каагулянты, флакулянты, сарбенты і рэгулятары pH. Устаноўлена, што хуткасць седыментацыі каагуляцыйных агрэгатаў і ступень ачысткі мадэльных дысперсій пры выкарыстанні цвёрдых кампазіцыйных рэагентаў вышэй, чым у выпадку водных раствораў і завісяў. Вызначаны масавыя і дысперсныя склады кампанентаў, якія дазваляюць дасягаць патрабаваную ступень ачысткі вады. Распрацаваны новы каагуляцыйнна-адсарбцыйны спосаб ачысткі прыродных і сцёкавых вод, якія змяшчаюць розныя забруджвальнікі і іх сумесі: пестыцыды, фенолы, фармальдэгід, павярхоўна-актыўныя рэчывы, нафтапрадукты і іншыя.

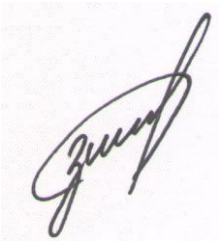
SUMMARY

Alesia V. Zyhmant

Coagulation-flocculation properties of dispersions formed by aluminum-containing coagulants and compositions based on them in the treatment processes of model, surface and wastewater

Key words: composite reagents, coagulants, aluminum sulfate, polyaluminum chlorides, relative basicity, sedimentation rate, kaolin, humic substances, fractal dimension, water treatment.

The purpose of the work is to establish the influence of the composition of aluminum-containing coagulants and compositions based on them, the dispersion conditions, temperature and nature of the particles of the dispersed phase on the coagulation-floculation characteristics of dispersions formed in the treatment processes of model, natural and wastewater, the development of composite reagents that can improve treated water quality, simplify and reduce the cost of the water treatment process.

Research methods: dynamic laser diffraction, spectrometry in the ultraviolet and visible ranges, optical microscopy, potentiometry, differential scanning calorimetry, thermogravimetry, physico-chemical methods of initial and purified waters analysis.

The dependences between the chemical composition of coagulants based on aluminum compounds, their relative basicity, the content of aluminum mononuclear and polynuclear hydroxocomplexes, the dispersion conditions, the temperature and the nature of model dispersions particles and the parameters of the formed coagulation aggregates and their influence on the treatment efficiency are determined. New compositions of reagents for natural and wastewater treatment containing powdery coagulants, flocculants, sorbents and pH regulators have been developed and manufactured. It was found that the sedimentation rate of coagulation aggregates and the degree of treatment of model dispersions using solid composite reagents are higher than in the case of aqueous solutions and suspensions. The mass and disperse compositions of the components are determined, which make it possible to achieve the required water treatment efficiency. New coagulation-adsorption method has been developed for treatment of natural and waste waters containing various pollutants and their mixtures: pesticides, phenols, formaldehyde, surfactants, oil products and others.