

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

На правах рукописи

ХИРШИЕВА Ирина Владимировна

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ
ПРИ ОЧИСТКЕ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД**

Специальность 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

ФЕОФАНОВ Юрий Александрович

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербург – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛИРОВАНИЯ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД.....	13
1.1. Краткая характеристика цветных вод поверхностных водоисточников севера и северо-запада РФ	13
1.2. Особенности процесса коагулирования маломутных цветных вод	17
1.3. Факторы, влияющие на процесс коагулирования воды	22
1.4. Выделение хлопьев коагулянта из воды отстаиванием	26
1.5. Интенсификация процесса коагулирования воды путем применения добавок-утяжелителей	31
1.5.1. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта ранее образованного осадка.....	32
1.5.2. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта микропеска	34
1.5.3. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта магнетита.....	36
Выводы по 1 главе.....	40
ГЛАВА 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	43
2.1. Объекты исследований	43
2.2. Исходные материалы, аппаратура и основное оборудование	44
2.3. Программа лабораторных исследований	46
2.4. Методика проведения экспериментальных исследований	49
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД ПРИ ВВЕДЕНИИ РАЗНЫХ ВИДОВ ДОБАВОК-УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ	54
3.1. Условия процесса коагулирования с введением разных видов добавок- утяжелителей при обработке модельных растворов.....	54
3.1.1. Кинетика выпадения осадка при коагулировании воды с применением различных добавок-утяжелителей	55

3.1.2. Влияние размера фракций частиц разных добавок-утяжелителей, вводимых при коагуляции, на качество осветленной воды	56
3.1.3. Влияние дозы добавок-утяжелителей на качество осветленной воды	60
3.1.4. Условия перемешивания при коагулировании воды с вводимыми добавками-утяжелителями	63
3.1.5. Место ввода добавок-утяжелителей в обрабатываемую при коагулировании воду	71
3.2. Результаты исследований процесса коагуляции с введением добавок-утяжелителей на воде р. Невы.....	75
3.2.1. Условия процесса коагулирования невской воды при введении различных видов утяжелителей хлопьев коагулянта.....	76
3.2.2. Коагулирование невской воды с добавлением в качестве утяжелителя смеси песка и железного порошка	84
3.2.3. Определение возможности снижения доз реагентов при коагулировании невской воды с введением добавок-утяжелителей.....	87
3.2.4. Определение оптимальной дозы добавок-утяжелителей при коагулировании невской воды	90
3.2.5. Влияние температуры воды на ход процесса коагуляции с введением добавок-утяжелителей	94
3.2.6. Результаты исследований по применению микрокальцита в качестве добавки при коагулировании невской воды	97
Выводы по 3 главе.....	102
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД Р. НЕВА С ВВЕДЕНИЕМ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ.....	105
4.1. Описание технологической схемы очистки невской воды на блоке К-6 Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга.....	105
4.2. Анализ данных о работе первой ступени очистки производственных сооружений блока К-6 ЮВС в г. Санкт-Петербурге (р. Нева).....	110

4.3. Коагулирование невской воды с использованием в качестве утяжелителя осадка из отстойника	114
4.4. Коагулирование невской воды с использованием в качестве утяжелителя – смеси осадка из отстойника и кварцевого песка	117
4.5. Влияние добавок-утяжелителей и продолжительности отстаивания на эффективность очистки невской воды.....	120
4.6. Определение степени утяжеления коагулированной взвеси при применении добавок-утяжелителей.....	124
4.7. Результаты производственных испытаний процесса коагуляции невской воды с добавлением кварцевого песка	128
Выводы по 4 главе.....	135
ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВОК-УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ.....	
5.1. Рекомендуемые технологические схемы процесса коагуляции маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей.....	136
5.2. Рекомендации для расчета и проектирования сооружений по обработке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей.....	142
5.3. Рекомендации по обработке осадка и промывной воды	148
5.4. Техничко-экономические показатели	150
Выводы по 5 главе.....	154
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	159
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	173
<i>Приложение А. Программа и отчет о проведении апробации (титульные и последние листы) на ЮВС способа интенсификации процесса коагуляции при очистке воды р. Нева путем применения добавок утяжелителей, утвержденный ГУП Водоканал СПб.....</i>	<i>174</i>
<i>Приложение Б. Паспорт на кварцевый песок ГОСТ 2138-91.....</i>	<i>178</i>
<i>Приложение В. Паспорт на порошок железный ПЖР 3.200-28 ГОСТ 9849-86 ...</i>	<i>179</i>

<i>Приложение Г.</i> Паспорт на магнетит природный ГОСТ 25473-82	181
<i>Приложение Д.</i> Паспорт и экспертное заключение на кварцевый песок ТУ 5711-009-80531125-2009.....	182
<i>Приложение Е.</i> Паспорт на мрамор молотый, фракционированный ТУ 5716-001-12574404-2013	187
<i>Приложение Ж.</i> Акт о внедрении результатов работы.....	188

ВВЕДЕНИЕ

Природные воды многих поверхностных водоемов северного и северо-западного районов Российской Федерации, используемых в качестве источников водоснабжения, относятся к категории маломутных цветных вод. Они имеют, как правило, высокие показатели цветности и окисляемости, характеризуются малой минерализацией, низким щелочным резервом и низкой среднегодовой температурой.

Традиционная технология очистки таких вод включает в себя обработку их коагулянтами и флокулянтами с дальнейшим отстаиванием и фильтрованием обработанной воды. Особенностью очистки маломутных цветных вод является вялое протекание процессов коагуляции воды с образованием мелких плохо оседающих хлопьев, которые не полностью задерживаются в отстойниках, в результате чего происходит увеличение грязевой нагрузки на фильтры, и зачастую приводит к ухудшению качества очищенной воды. Особенно ухудшается процесс коагуляции и хлопьеобразования в холодное время года из-за низкой температуры воды. При традиционной схеме обработки природных цветных вод на водопроводных станциях, данные обстоятельства не позволяют гарантировать получение стабильного качества очищенной воды, соответствующего требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Для улучшения качества очищенной воды приходится повышать дозу коагулянта, вводить предварительную обработку исходной воды окислителями, что в результате приводит к увеличению эксплуатационных расходов и образованию вторичных загрязнений воды.

Таким образом, возникает необходимость в разработке эффективных способов интенсификации процесса коагуляции, что особенно актуально для обработки маломутных цветных вод поверхностных водоемов.

Актуальность работы.

Одним из действенных направлений интенсификации процесса коагуляции и повышения эффективности очистки является введение в воду при коагуляции различных добавок. Они играют роль центров хлопьеобразования и служат

утяжелителями, ускоряющими процесс формирования хлопьев, способствуя быстрому их осаждению при отстаивании. Данные по применению добавок-утяжелителей при очистке воды весьма малочисленны и разноречивы, и практически отсутствуют применительно к очистке маломутных цветных вод, на водопроводных станциях в РФ этот метод пока не нашел применения.

Проведение процесса коагулирования воды, как с введением добавок-утяжелителей, так и без их использования зависит, прежде всего, от состава и свойств обрабатываемой воды, и условий её обработки. Очевидно, что оптимальные технологические параметры метода интенсификации процесса коагуляции должны определяться для конкретных видов обрабатываемых вод экспериментальным путем. Решение данного вопроса требует проведения специальных комплексных исследований по изучению всех особенностей технологического процесса указанного метода, в частности, при обработке маломутных цветных вод, чем и обусловлена актуальность настоящей работы.

Степень разработанности темы исследования. Литературные данные по изучению и применению способа ускорения процесса коагулирования воды с использованием добавок-утяжелителей весьма малочисленны и разноречивы, технологические параметры проводимого процесса комплексно не изучены, отдельные имеющиеся сведения относятся к конкретному водному источнику и ограничены условиями эксперимента. Опыт применения этого способа к очистке маломутных цветных вод, в частности, в РФ, практически отсутствует.

Цель исследования.

Цель исследования – интенсификация процесса коагуляции при очистке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей, выбор разных видов отечественных добавок-утяжелителей, выявление эффективности их применения и определение оптимальных технологических параметров проведения данного процесса.

Задачи исследования:

1. Анализ литературных данных по коагуляционной обработке маломутных цветных вод и способов интенсификации процесса коагуляции.

2. Выбор видов добавок-утяжелителей отечественного производства, проведение экспериментальных исследований по определению эффективности коагуляционной очистки маломутных цветных вод с добавлением разных видов добавок-утяжелителей.

3. Выявление технологических параметров и области применения различных видов добавок-утяжелителей, определение оптимальных доз и фракционного состава, порядка их ввода в обрабатываемую воду; определение условий перемешивания при проведении процесса коагуляции маломутных цветных вод с добавлением разных утяжелителей.

4. Определение сравнительной кинетики удаления примесей при коагуляции маломутных цветных вод с добавлением разных утяжелителей.

5. Проведение экспериментальных исследований по интенсификации процесса коагуляции воды р. Невы с применением добавок-утяжелителей при разных температурах исходной воды и в условиях низких температур (ниже 5 °С).

6. Проведение производственных испытаний при очистке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей.

7. Обобщение и анализ экспериментальных данных, получение расчетных зависимостей для определения эффективности очистки маломутных цветных вод при проведении процесса коагуляции с применением разных добавок-утяжелителей.

8. Выбор технологических схем обработки маломутных цветных природных вод с применением различных добавок-утяжелителей и определение области их применения.

9. Разработка рекомендаций для расчета и проектирования сооружений по обработке данных вод с использованием различных добавок-утяжелителей.

Объектом исследования являлись маломутные цветные воды поверхностных источников.

Предметом исследования является способ интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод путем введения в обрабатываемую воду различных отечественных видов добавок-утяжелителей.

Научная новизна и значимость проведённых исследований заключается в следующем:

1. На основании сравнительных исследований кинетики выпадения коагулированной взвеси с добавлением разных отечественных видов утяжелителей (кварцевого песка, магнетита, железного порошка и кальцита) и без них установлено, что время выпадения осадка и продолжительность отстаивания обработанной воды сокращались в 6-30 раз в сравнении с обработкой воды при традиционной коагуляции.

2. Определены оптимальные характеристики различных добавок-утяжелителей (их фракционный состав и дозы), вводимых при коагуляции маломутных цветных вод, порядок их ввода с реагентами в обрабатываемую воду, при которых обеспечивалось лучшее качество осветленной воды (мутность и цветность).

3. Установлены оптимальные условия проведения процесса коагуляции маломутных цветных природных вод (скорости и время быстрого и медленного перемешивания) с добавлением разных видов утяжелителей, при которых вводимые добавки находились во взвешенном состоянии, а образующиеся хлопья не разрушались.

4. Для оценки увеличения скорости осаждения коагулированной взвеси с добавкой утяжелителей введен коэффициент утяжеления и экспериментально определены значения этого коэффициента для испытанных видов утяжелителей.

5. Установлено, что применение различных видов добавок-утяжелителей при коагулировании воды р. Нева позволяет значительно повысить эффект очистки и качество осветленной воды при низких температурах (менее 5 °С), в сравнении с коагуляцией без добавок-утяжелителей. Применение испытанных добавок-утяжелителей способствует эффективному проведению процесса коагуляции воды независимо от температуры обрабатываемой воды (в диапазоне 3,3-27 °С).

6. Получены зависимости эффекта снижения мутности, цветности и перманганатной окисляемости маломутных цветных вод при их коагулировании

с введением утяжелителей от продолжительности отстаивания, которые позволяют определить время отстаивания для получения требуемого качества осветленной воды (по разным показателям) при применении разных видов добавок-утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка и микрокальцита) отечественного производства. Добавление при коагуляции утяжелителей позволяет снизить дозу коагулянта на 10% и дозу флокулянта на 20%.

7. Получены расчетные зависимости для определения доз реагентов и эффективности очистки маломутных цветных вод с применением разных добавок-утяжелителей и сформулированы области применения этих добавок.

Методологической основой диссертационного исследования послужили основные теоретические положения процесса коагуляционной обработки воды с учетом современных тенденций его развития, современные методики применения данного процесса очистки воды, проведение лабораторных и производственных исследований на натуральных природных водах, современные методы математической обработки и анализа экспериментальных данных.

В диссертации представлены результаты научно-исследовательских работ, полученные автором лично и в сотрудничестве с научными работниками кафедры водопользования и экологии университета ФГБОУ ВПО СПбГАСУ, со специалистами Южной водопроводной станции ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и химико-бактериологической лаборатории этой станции.

Область исследования соответствует требованию паспорта научной специальности ВАК 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» и заключается в совершенствовании методов очистки маломутных цветных вод в развитие пункта 3: «Методы очистки природных и сточных вод, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов».

Теоретическая и практическая ценность и реализация результатов исследований состоит в следующем:

- выявлена эффективность применения различных отечественных видов добавок-утяжелителей для интенсификации процесса коагуляции маломутных

цветных вод, определены их оптимальные параметры и условия применения (дозы и фракционный состав, порядок их ввода и условия перемешивания с реагентами), обозначены области их использования;

- оценено ускорение осаждения коагулированной взвеси при введении добавок-утяжелителей с помощью коэффициентов утяжеления;

- определено влияние температуры исходной воды на ход процесса коагуляции с применением добавок-утяжелителей при обработке невской воды;

- получены результаты производственных испытаний при очистке воды р. Невы с применением добавки-утяжелителя;

- выбраны технологические схемы обработки маломутных цветных природных вод с применением различных добавок-утяжелителей и определены области их применения;

- разработаны рекомендации для расчета и проектирования сооружений по обработке маломутных цветных природных вод с применением испытанных видов добавок-утяжелителей.

Полученные результаты данной работы переданы для внедрения в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», а также внедрены научно-производственной фирмой ООО «Винко» (Санкт-Петербург) в проектах водоочистных установок для автономных объектов, расположенных на Крайнем Севере и Восточной Сибири РФ (приложение Ж), а также использованы в курсе «Комплексное использование водных ресурсов» и дипломном проектировании в СПбГАСУ.

Апробация работы.

Основные положения диссертационных исследований докладывались:

- на I международном конгрессе молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов, посвященный 180-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета «Актуальные проблемы современного строительства». – СПбГАСУ, (Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2012 г.),

- на II международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов) «Актуальные проблемы современного строительства». – СПбГАСУ, (Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2013 г.),

- на VI Невском Международном Экологическом конгрессе «Пути интенсификации процесса очистки природных вод с повышенным антропогенным загрязнением». – ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», (Санкт-Петербург, 2013 г.),

- на III Международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов) «Актуальные проблемы современного строительства». – СПбГАСУ, (Санкт-Петербург, 9–11 апреля 2014 г.).

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 7 печатных работах, общим объемом 2,45 п.л., лично автором – 2 статьи (1,76 п.л.), в том числе 4 статьи опубликованы в изданиях, которые входят в перечень научных журналов, утвержденных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами по каждой и глав, основных выводов. Диссертация изложена на 188 страницах машинописного текста, содержит 42 таблицы, 41 формулу, 63 рисунка, 7 приложений, и список использованной литературы работ отечественных и зарубежных авторов, состоящий из 145 наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛИРОВАНИЯ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

1.1. Краткая характеристика цветных вод поверхностных водоисточников севера и северо-запада РФ

Воды многих поверхностных водоемов северного и северо-западного регионов России относятся к категории маломутных цветных вод. К ним относятся воды со следующими показателями качества: мутность до 20 мг/л, цветность от 20 до 200 град., температура 0-25 °С, $pH = 6,8-9$, перманганатная окисляемость 6-10 мг O_2 /л [105, прил. Б]. Основными рекомендованными технологическими методами, применяемыми при очистке маломутных цветных вод, являются: предварительная обработка их хлором и аммиаком (или озоном), затем обработка коагулянтами и флокулянтами, отстаивание воды, с последующим скорым фильтрованием и окончательное обеззараживание хлором [105, прил. Б].

Характерными представителями природных поверхностных водоемов, относящимися к категории маломутных цветных вод, являются источники водоснабжения Санкт-Петербурга (р. Нева) и городов Ленинградской области (р. Волхов и др.). В табл. 1.1 приведен в качестве примера, состав воды р. Невы – на водозаборе Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга:

Таблица 1.1

Среднегодовые значения качества воды реки Невы

Показатель качества воды	Года	
	2000-2001 [24]	2012-2013
Цветность, град	24,0-27,0 (25,9)	27-61 (39,6)
Мутность, мг/л	1,9-2,6 (2,3)	0,5-9,7 (1,4)
Перманганатная окисляемость, мг O_2 /л	6,6-7,0 (6,8)	6,4-12,3 (8,7)

Примечания: 1) В табл. 1.1 приведены пределы значений (мин., макс.), в скобках среднее значение. 2) Во время штормов на Ладоге мутность невоской воды кратковременно повышалась до 9,7 мг/л, цветность до 61 град., перманганатная окисляемость до 12,3 мг O_2 /л.

Невская вода характеризуется низкой щелочностью (0,46-0,72 ммоль/л) [81].

В природных поверхностных водах содержится разные по составу и свойствам вещества, обуславливающие цветность воды и оказывающие влияние на процесс ее очистки [43]. Одним из основных показателей качества воды является ее цветность, которая характеризуется основной группой органических веществ (гуминовых веществ) [125], выносимых из болот, торфяных почв, а также органическими веществами, вносимыми в воду с бытовыми и промышленными стоками.

Гуминовые кислоты – полимерные соединения циклического строения, с большими размерами молекул, которые представляются в виде сетки из концентрированных ядер с боковыми цепями, устойчивые в воде. Данные кислоты находятся в воде в виде соединений разной степени дисперсности – от взвеси до истинных растворов с частицами размером от 0,001 до 0,01 мкм [126].

Гуминовые кислоты содержатся в воде в пределах 7,5-13,8 % [43], максимальные концентрации наблюдаются в период весеннего и осеннего паводков, в остальное время года в воде содержится около 7,5 % гуминовых кислот.

По данным [21, 42, 43, 45], основную преобладающую часть гуминовых веществ, вызывающих цветность природных вод северного и северо-западного районов, составляют фульвокислоты (76,0-99,4 %).

Цветность воды большинства поверхностных водоисточников северного и северо-западного районов страны обусловлена присутствием в них фульвокислот, содержание которых изменяется от 70 до 99 % от общего водного гумуса [81, 93]. Фульвокислоты делятся на апокреновые кислоты (сильноокрашенные коллоидные) и креновые кислоты (малоокрашенные истинно-растворенные). Фульвокислоты обладают большей растворимостью в воде и более устойчивы к коагулирующему действию реагентов, чем гуминовые кислоты, их дисперсность в 10-100 раз выше дисперсности гуминовых кислот [62, 100, 126].

В работах [21, 42, 43, 45, 112, 113] изучался состав и свойства гуминовых веществ, придающих цветность речной воде, на примере реки Вычегды. В

результате исследований по определению фракционного состава гуминовых веществ северных рек определены зависимости значений показателя цветности исходной воды от содержания фракций (рис. 1.1).

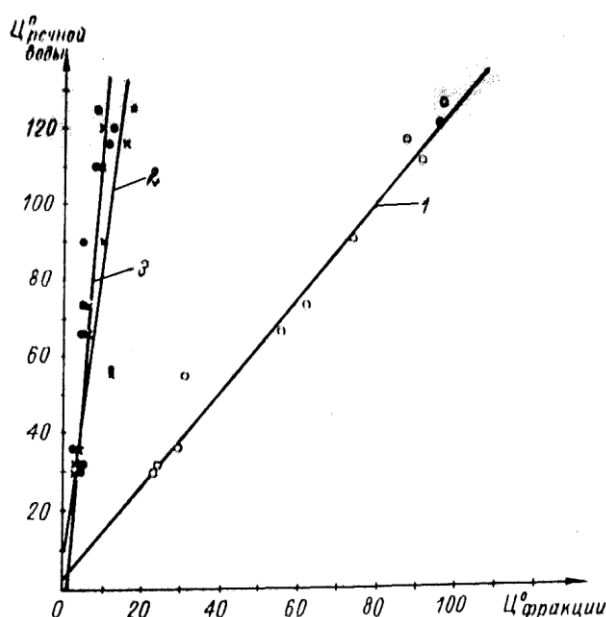


Рис. 1.1. Зависимость цветности исходной воды от цветности фракционного состава водного гумуса [42]: 1 – апокреновые фульвокислоты; 2 – гуминовые кислоты; 3 – креновые фульвокислоты

Установлено [43], что изменение концентрации каждой фракции гуминовых веществ и соотношение их между собой зависит от годового стока реки и от характера их питания. Содержание в воде апокреновых фульвокислот связано с изменением стока реки, в большей степени они наблюдаются в паводковый (весенний) и послепаводковый (осенний) периоды (46,5 – 50,7 %). В остальной период минимального стока реки наблюдаются наименьшие концентрации этих фульвокислот (28,0 – 31,0 %) [43]. Апокреновые кислоты имеют интенсивную окраску и находятся в воде большей частью в коллоидной форме, а меньшей в растворенном состоянии, при этом они хорошо удаляются из воды химическими реагентами [126].

Содержание креновых фульвокислот увеличивается в зимний и летний периоды (до 65,0 %), что объясняется увеличением в стоке реки грунтовых вод [5]. Резко понижается содержание этих кислот при максимальном стоке рек в период весеннего паводка (до 39,0 %), так как происходит разбавление

концентрации этих кислот в воде [43]. Они находятся в воде в растворенном состоянии, тем самым усложняют процесс обесцвечивания воды при ее обработке химическими реагентами [5, 126]. Группы водного гумуса отличаются друг от друга по физико-химическим свойствам, их количественное содержание в воде существенно влияет на обесцвечивание воды [5].

Сезонные изменения количества и свойств гуминовых веществ характеризуется изменением коэффициента цветности $K_{ц}$ (коэффициент цветности $K_{ц}$ – отношение цветности воды к перманганатной окисляемости) [43, 112, 113]. В качестве примера в табл. 1.2 приведены значения коэффициентов цветности для реки Вычегды [43, 112, 113].

Таблица 1.2

Коэффициент цветности гуминовых веществ реки Вычегды

Наименование кислоты	Коэффициент цветности, $K_{ц}$
Апокреновые фульвокислоты	4,49-7,39
Гуминовые кислоты	2,12-4,00
Креновые фульвокислоты	0,37-0,74

Установлено [113], что зона оптимальных значений pH при реагентной обработке для обесцвечивания растворов находится в диапазоне от 5 до 6,5 не зависимо от соотношения концентраций гуминовых и фульвокислот. С увеличением pH раствора от 1 до 12, цветность возрастает на 30 % [43, 113].

Различие в свойствах гуминовых кислот и фульвокислот следует учитывать при анализе состава гуминовых веществ [113]. Так находясь в кислой среде ($pH < 7$), гуминовые кислоты образуют осадок, в то время как фульвокислоты в ней растворяются. При этом осадок гуминовых кислот может растворяться в щелочной среде ($pH > 7$). Коллоидные фракции апокреновых фульвокислот выделяется в осадок вместе с хлопьями гидроксида алюминия, при pH 5-5,2. Следовательно, при этом значении pH в осадок выпадают гуминовые кислоты и апокреновые фульвокислоты [113].

После отделения фракций гуминовых кислот и апокреновых фульвокислот в водном растворе остаются малоокрашенные истинно-растворенные – креновые

фульвокислоты, которые не взаимодействуют с хлопьями гидроксида алюминия. Установлено [113], что в среднем 83 % апокреновых фульвокислот обуславливает цветность воды. Остаточная цветность может превышать цветность характерную для креновых кислот, т. к. при изменении pH растворов не все апокреновые фульвокислоты коагулируют из-за неоднородности их состава и свойств.

Еще одной особенностью цветных вод с низким щелочным резервом является ее низкий индекс стабильности, что вызывает высокую агрессивность воды к металлу и сопровождается коррозионными процессами при ее транспортировании по водопроводным сетям [28, 69, 81, 97]. По данным [81], индекс стабильности воды р. Невы на Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга находится в пределах "- 1,6...-2,0", а количество свободной угольной кислоты изменяется от 3,0 мг/л до 7,0 мг/л.

1.2. Особенности процесса коагулирования маломутных цветных вод

Примеси в воде делят на устойчивые частицы, которые окружены гидратной оболочкой и не коагулируют при введении электролитов, а также частицы агрегативно-устойчивые, ввиду наличия на поверхности электрического заряда, препятствующего их слипанию [24, 114]. Большая часть примесей природных цветных вод представлена агрегативно-устойчивыми тонкодисперсными и коллоидными частицами, для удаления которых необходимо предварительно нарушить их агрегативную устойчивость, и создать условия для коагуляции воды. Классическое представление о механизме процесса коагуляции примесей природных вод выглядит следующим образом [25, 64, 65, 70, 71, 116]. Органические гидрофильные примеси, находящиеся в природных водах, окружённые гидратной оболочкой, несут небольшой заряд и под действием электролитов не коагулируют. Другая часть примесей – гидрофобные частицы (глины, ила, песка) лишены гидратной оболочки и несут значительный электрический заряд. На этих частицах, имеющих значительную удельную поверхность, сорбируются находящиеся в воде ионы с образованием

адсорбционного слоя, а вокруг него создается диффузионный слой из противоионов, компенсирующих оставшийся заряд ядра. В целом, ядро с адсорбционным и диффузионным слоями образуют мицеллу (рис. 1.2).

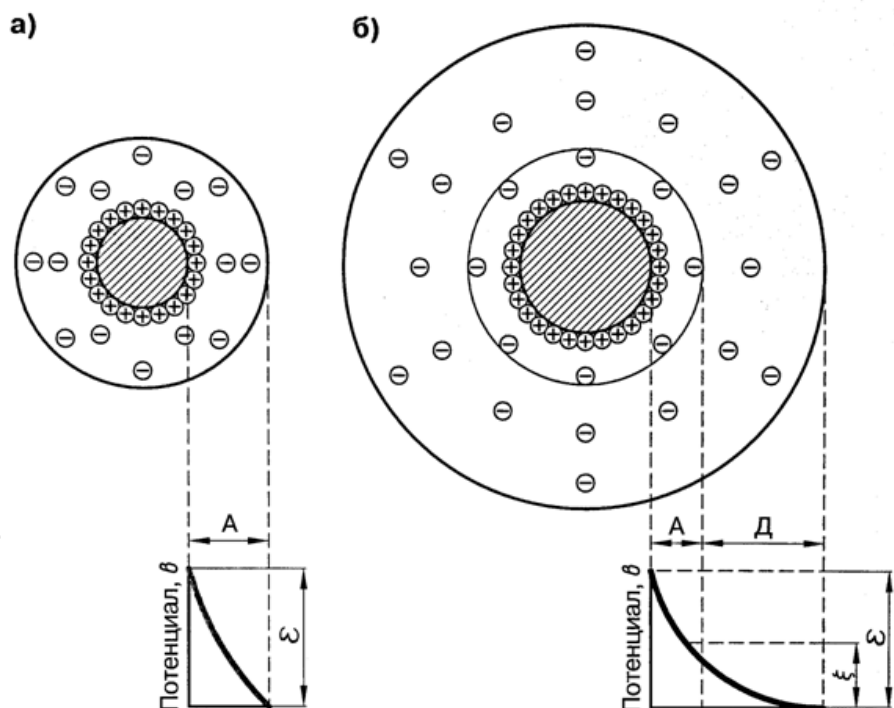


Рис. 1.2. Строение мицеллы [24]: а) в покое; б) при движении;
 А – адсорбционный слой, Д – диффузионный слой, ϵ – термодинамический потенциал;
 ζ – электрокинетический потенциал (дзета-потенциал)

Введение коагулянта в обрабатываемую воду приводит к снижению электрического заряда (уменьшение ζ дзета-потенциала), уменьшению сил отталкивания, нарушению агрегативной устойчивости загрязняющих веществ и к их взаимному слипанию [24, 63, 64, 70, 71, 114]. Первоначально происходит образование хлопьев из коагулянта, затем на их поверхности адсорбируются примеси воды [11]. Так же хлопья могут прилипать к поверхности более крупных примесей. В процессе осаждения хлопьев происходит обесцвечивание и осветление воды [24].

При проведении процесса коагуляции выполняются следующие условия [13]:

- адсорбция частиц взвеси на хлопьях коагулянта, способствующая слипанию частиц при их столкновении;

- формирование крупных быстро оседающих хлопьев, вследствие накопления большого количества твердой фазы в объеме обрабатываемой воды.

По данным [128, 130, 142] первое условие называется «*обволакиванием*» и означает наращивание на поверхности частиц взвеси хлопьев коагулянта, что приводит к утере частицами агрегативной устойчивости. Процесс хлопьеобразования протекает благодаря слипанию дестабилизированных частиц при их перемешивании и столкновении.

Для вод конкретного водоисточника опытным путем определяются условия проведения процессов коагуляции и флокуляции: вид и доза реагентов (коагулянта и флокулянта), место их ввода, скорости перемешивания (градиенты скорости) воды на стадии формирования хлопьев и сохранения их до поступления на осветление (отстаивания), также важно контролировать продолжительность коагуляции и флокуляции, которая зависит от свойств и состава воды, ее температуры [29, 47].

Для выделения коагулированных примесей из воды [66] применяются следующие технологические процессы: отстаивание, осветление в слое взвешенного осадка, фильтрация через зернистые материалы и др.

При коагуляции примесей маломутных цветных вод происходит образование очень рыхлых и мелких хлопьев с большим объемом захваченной воды. Плотность (объемный вес) этих хлопьев примерно 1,001-1,003 г/см³, поэтому их осаждение в отстойниках и осветлителях малоэффективно, особенно при низких температурах воды [17, 24, 47].

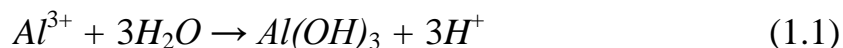
При очистке природной воды с низким щелочным резервом и при температуре меньше 10 °С процесс коагуляции протекает вяло и медленно [24, 44, 111]. Для улучшения коагуляции используют предварительное подщелачивание воды, повышенные дозы коагулянта, а также введение в воду флокулянтов (высокомолекулярных веществ) [18,19].

Эффективными коагулянтами для очистки поверхностных цветных вод являются соли многовалентных металлов, в большей степени алюминия и железа (сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, оксихлорид алюминия

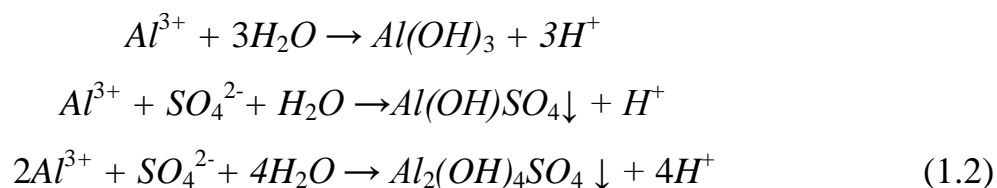
$Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$, хлорное и сернокислое железо $FeCl_3$ и $FeSO_4$, сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3$ и др. [24, 40, 51, 63, 91, 114, 135]).

Наибольшее распространение получило применение в качестве коагулянта – сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ [22, 24, 40, 51].

Уравнение гидролиза сульфата алюминия выглядит следующим образом:



От условий процесса гидролиза зависит возможность образования малорастворимых оснований солей алюминия $Al(OH)SO_4$ и $Al_2(OH)_4SO_4$ [75]:



Выделяющийся в процессе гидролиза ион водорода (H^+) снижает pH воды и может ухудшать условия коагуляции. Соединение ионов водорода, как продукта гидролиза, с присутствующими в воде бикарбонатными ионами приводит к образованию значительного количества свободной углекислоты. Углекислота сорбируется частицами хлопьевидной взвеси, порождая ее флотацию, как следствие происходит всплывание хлопьев на поверхность воды [46]. Хлопья становятся менее прочными, более рыхлыми, с уменьшенными сорбционными свойствами, из-за этого ухудшается процесс их осаждения в отстойных сооружениях.

Гидролиз, полимеризация и адсорбции происходят очень быстро. Время [141], требуемое для образования комплексов типа $AlOH^{2+}$ и $FeOH^{2+}$ легко адсорбирующихся на поверхности коллоидных частиц равно 10^{-10} с. Полимеры образуются медленнее (10^{-2} - 1 с), а время их адсорбции на поверхности коллоидов – 10^{-4} с. Процесс адсорбции промежуточных соединений вызывает дестабилизацию коллоидов и приводит к агломерации частиц.

Преимуществом применения в качестве коагулянта сернокислого алюминия является его высокая коагулирующая, адсорбционная и осаждающая способность

по отношению к большинству загрязнений природных вод [40, 127], а также важным является его доступность и низкая стоимость.

К недостаткам данного коагулянта можно отнести медленное хлопьеобразование и малая скорость осаждения образующихся хлопьев при низких температурах воды, что приводит к повышению дозы коагулянта и интенсивности перемешивания воды на стадии смешения и флокуляции [73]. При коагулировании воды сернокислым алюминием с избыточной его дозой в воде выделяются ионы водорода, что приводит к снижению pH . При снижении pH воды до 6 наблюдается частичное растворение гидроксида алюминия, и появляются растворенные соединения алюминия [7, 127]. Концентрация остаточного алюминия в очищенной воде в значительной степени зависит от температуры, pH и щелочности воды [4, 71, 102].

Применение флокулянта приводит к уменьшению остаточного алюминия в очищенной воде и способствует образованию более плотных хлопьев [6].

Использование в качестве коагулянта – оксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ [3, 24] при очистке маломутных цветных вод показало некоторое преимущество по сравнению с сульфатом алюминия, в частности, при применении этого коагулянта в меньшей мере снижается pH и щелочность очищенной воды [40, 102, 104, 127]. Однако, по данным [48] процесс коагуляции с применением оксихлорида алюминия протекает не стабильно, в условиях изменения состава исходной воды, технологии водоподготовки и др. факторов. К недостаткам этого реагента можно отнести его высокую стоимость [56], недостаточную эффективность по снижению окисляемости воды и др. [40].

Применение железосодержащих коагулянтов (хлорное железо $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$) при обработке маломутных цветных вод приводит к повышению содержания в воде остаточного железа, образовании мелкие по размеру хлопья коагулированной взвеси [14, 24, 40, 96, 112].

Обработка [25, 26, 47, 69, 95] маломутных цветных воды окислителями (например, озоном, хлором и др.) способствует повышению эффективности

процесса коагуляции и осаждению примесей воды в результате деструкции органических соединений и образования веществ с более низкой молекулярной массой [47].

1.3. Факторы, влияющие на процесс коагуляции воды

Интенсивность и эффективность протекания процесса коагулирования воды зависит от влияния многих факторов, таких как: концентрация водородных показателей, щелочность, вид и доза применяемых реагентов, температура обрабатываемой воды, условия перемешивания, содержание естественных взвесей и др. [49, 71].

Концентрация водородных ионов. В исследованиях [113], определена оптимальная зона pH воды (рис. 1.3), в зависимости от свойств воды, состава гумуса на примере реки Вычегды (исходная цветность воды – 80 град).

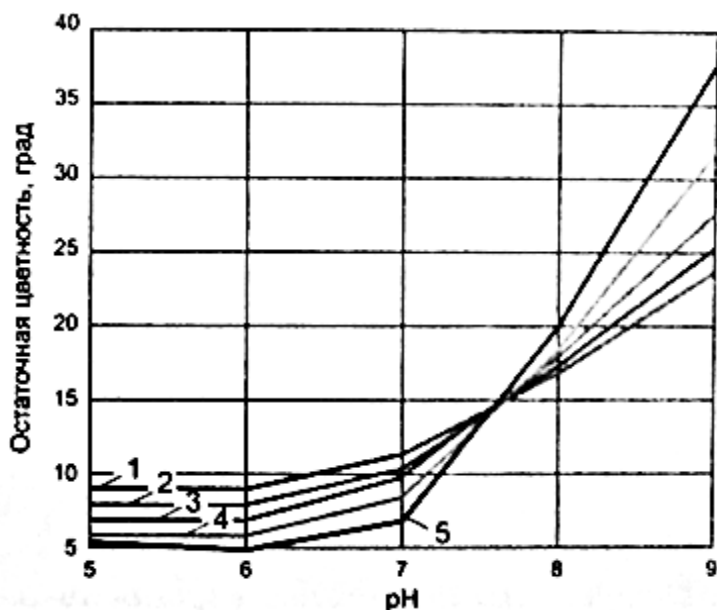


Рис. 1.3. Зависимость остаточной цветности растворов гуминовых веществ от pH воды [113]:
 1 – фульвокислоты (100 %); 2 – гуминовые кислоты (10 %) + фульвокислоты (90 %);
 3 – гуминовые кислоты (50 %) + фульвокислоты (50 %);
 4 – гуминовые кислоты (80 %) + фульвокислоты (20 %); 5 – гуминовые кислоты (100 %).

Зона оптимальных pH всех растворов, имеющих разное соотношение концентраций гуминовых и фульвокислот, как видно из рис. 1.3, находится в пределах от 5 до 6 [113]. По данным [113], при коагулировании воды с

гуминовыми веществами при увеличении $pH > 6$ происходит увеличение остаточной цветности при тех же дозах коагулянта, при $pH > 7$ резко увеличивается остаточная цветность. Кривые пересекаются в одной точке ($pH = 7,8$), что объясняется началом растворения продуктов гидролиза коагулянта. Ухудшение процесса обесцвечивания [113] наблюдается с дальнейшим увеличением $pH > 7,8$.

Установлено [10], что при изменении pH воды изменяется и плотность коагулированной взвеси. Добавление при коагулировании воды щелочи может повысить плотность коагулированной взвеси. Оптимальные значения pH и щелочи определяются по результатам пробного коагулирования, в зависимости от состава и характера загрязнений [13, 37, 111].

Известно [14, 47], что оптимальные значения pH воды при очистке маломутных цветных вод находится в диапазоне от 5,2 до 7.

Щелочность воды. Образование коллоидного раствора гидроксида алюминия $Al(OH)_3$ (и его последующая коагуляция) возможно только в том случае, если концентрация бикарбонатных ионов в растворе будет эквивалентной концентрации добавленной соли [110]. Если же их меньше чем ионов алюминия, то в этом случае, гидролиз останавливается на промежуточной стадии, при этом значительная часть ионов алюминия остается в растворе. Этим объясняется наличие остаточного алюминия в воде после коагуляции, в случае её малой щелочности.

Значение остаточной щелочности должно быть не менее 0,2-0,5 ммоль/л [4]. Для полноты гидролиза коагулянта при обработке воды с низким щелочным резервом, необходимо подщелачивать для обеспечения эффективного хлопьеобразования и для минимального значения остаточного алюминия в воде. В некоторых случаях воду подщелачивают после очистки, для повышения ее стабильности [4]. Порядок введения подщелачивающего реагента и коагулянта, а также их оптимальные дозы устанавливаются экспериментальным путем [71].

Температура воды – один из основных показателей, влияющий главным образом на скорость и эффективность процессов коагуляции [67, 75, 110].

В поверхностных водоемах температура воды значительно меняется в зависимости от сезонов года (0,1-30,0 °С). На отдельных участках водоисточников температура воды может меняться из-за наличия подземного питания, а также в результате антропогенного влияния (поступление нагретых вод от охлаждения производственных агрегатов, горячих сточных вод) [68].

В весенний период наблюдаются наиболее неблагоприятные условия для очистки поверхностных вод из-за низких температур [15] и наибольшего загрязнения воды. При понижении температуры, происходит замедление процесса коагуляции, сопровождающееся образованием мелких хлопьев (уменьшается скорость образования коагулированных хлопьев) и наличием в коагулированной воде алюминиевых солей. Так же ослабевает интенсивность броуновского движения и увеличивается вязкость воды [106]. Увеличение вязкости воды негативно влияет на очистку воды отстаиванием, осветлением в слое взвешенного осадка и фильтрованием.

По данным [47] при изменении температуры обрабатываемой воды с 20 до 1 °С время хлопьеобразования увеличивается в 1,5 раза, а при снижении температуры воды с 18 °С до 0,1 °С [112] доза коагулянта увеличивается в 1,8 раза, а доза флокулянта – в 2,7 раза (рис. 1.4).

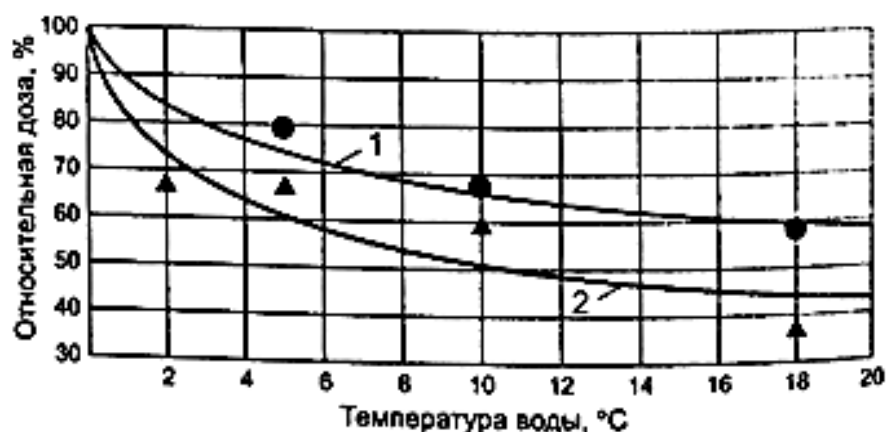


Рис. 1.4. Влияние температуры воды на дозы коагулянта и флокулянтов при коагулировании воды реки Вычегды [112]: 1 – коагулянт; 2 – флокулянт

Перемешивание воды. На процесс образования хлопьев и их характер оказывает влияние интенсивность и время смешения реагентов с водой. Интенсивность перемешивания воды, обеспечивает достаточное число

столкновений микрохлопьев коагулянта, способствуя образованию плотных по структуре хлопьев [2, 9, 12, 14, 46, 50, 69, 99, 101, 106, 111]. Недостаточное или слишком интенсивное смешение реагентов с водой может негативно влиять на образование хлопьев в камерах хлопьеобразования [61, 140].

На рис. 1.5 приведены кривые [71], характеризующие влияние перемешивания жидкости на течение коагуляции, где показано время выпадения взвеси при перемешивании (кривая 1) и без перемешивания (кривая 2).

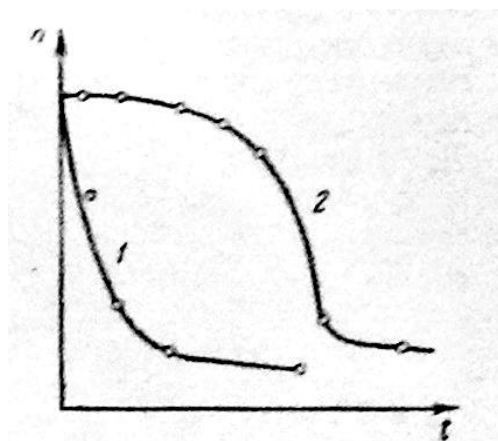


Рис. 1.5. Влияние перемешивания жидкости на течение коагуляции [71]

Оптимальный режим перемешивания реагентов с водой определяется для каждого конкретного источника водоснабжения, в зависимости от качества исходной воды, от количества загрязнений и типа применяемых реагентов [8].

Продолжительность смешения воды с коагулянтами обычно около 1 мин., а продолжительность медленного перемешивания при обычной коагуляции принимается от 15 до 60 мин [12, 14, 109].

В работе [73] было выявлено улучшение качества очищенной воды при трехэтапном перемешивании (интенсивность изменялась от 80 до 30 об/мин).

Интенсивность перемешивания реагентов с водой характеризуется градиентом скорости G , или критерием Кэмп [24, 47, 107, 132, 133, 134, 139].

Градиент скорости вычисляется по следующей формуле:

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \mu}} \quad (1.3)$$

где P – мощность, затрачиваемая на перемешивание воды, Вт; V – объем обрабатываемой воды, м³, μ – динамическая вязкость воды, Па·с.

Критерий Кэмпса определяется как:

$$Km = GT \quad (1.4)$$

где G – градиент скорости (с⁻¹), а T – продолжительность смешения, с.

Величины G и GT используются для характеристики режимов работы смесителей, а также камер хлопьеобразования. Величина G теряет свой физический смысл градиента скорости для турбулентного потока, а определяет расход энергии на перемешивание единицы объема жидкости.

В разных смесительных устройствах, работающих при одинаковых дозах коагулянта и одинаковой продолжительности смешения, получаются разные значения градиента скорости G [129, 131, 138, 140], что вызвано разным качеством обрабатываемой воды.

Из приведенных данных видно, что эффективность процесса коагуляции воды зависит от многих факторов: щелочности, pH , температуры воды и от условий ее перемешивания на стадиях смешения и хлопьеобразования, которые зависят от свойств и качества обрабатываемой воды, поэтому эти параметры должны определяться в каждом конкретном случае экспериментально.

1.4. Выделение хлопьев коагулянта из воды отстаиванием

Основной величиной, характеризующей эффективность реагентной обработки воды с последующим отстаиванием является скорость выпадения взвеси [66]. Скорость осветления воды при отстаивании зависит, в первую очередь, от степени дисперсности и формы взвешенных примесей, а также вязкости воды и разности плотностей частиц и жидкости.

При осаждении частицы в жидкости на нее действуют сила тяжести, подъемная (архимедова) сила и сила трения. Зависимость между ними в критериальном виде определяется уравнением (1.5) [94]:

$$Re = a \cdot (\varphi \cdot Ar)^m \quad (1.5)$$

где: $Re = u \cdot d \cdot \rho / \mu$ – критерий Рейнольдса; $Ar = g \cdot d^3 \cdot (\rho / \mu)^2 \cdot (\rho - \rho_0) / \rho_0$ – критерий Архимеда; a и m – эмпирические коэффициенты.

Уравнение (1.5) при ламинарном режиме движения жидкости $Re < 1,85$ и для частицы идеальной шарообразной формы, переходит в формулу Стокса, в которой скорость осаждения частицы определяется по следующей формуле [1, 58, 72, 74, 109]:

$$u = \frac{d^2}{18\mu} \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) \quad (1.6)$$

где u – скорость выпадения частиц взвеси, см/с, ρ и ρ_0 – плотность частицы и воды, г/см³; μ – вязкость жидкости, Па·с; g – ускорение свободного падения; d – диаметр частиц, см.

Формула (1.6) справедлива для идеального случая, когда все частицы взвеси одинаковы [1].

Для характеристики осаждения полидисперсной взвеси используют экспериментально полученные кинетические кривые, которые определяют зависимость эффективности осветления воды (количество выпавших примесей) от времени отстаивания или гидравлической крупности по формулам (1.7) и (1.8) [52]:

$$\mathcal{E} = f(t) \quad (1.7)$$

$$\mathcal{E} = f(u) \quad (1.8)$$

где \mathcal{E} – эффект осветления, %; t – продолжительность отстаивания, мин; u – условная скорость выпадения или гидравлическая крупность частиц взвеси, соответствующая заданному эффекту, мм/с.

Эффект осветления определяется по следующей формуле [52]:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{исх} - C_{осв}}{C_{исх}} \cdot 100 \quad (1.9)$$

где: $C_{исх}$ – исходное содержание взвеси в воде, мг/л; $C_{осв}$ – концентрация взвеси, осветленной воды через время t , мг/л.

Кривые осаждения полидисперсной взвеси фактически являются частотной характеристикой исследуемой суспензии, показывающей распределение частиц по их гидравлической крупности. Эту зависимость можно представить в виде выражения (1.10):

$$C_{\text{осв}}/C_{\text{исх}} = (1 - A \cdot u^m) \quad (1.10)$$

Характерные кривые осаждения взвеси природных вод $\mathcal{E} = f(t)$ и $\mathcal{E} = f(u)$ в статических условиях приведены на рис. 1.6 [52, 74, 75, 76].

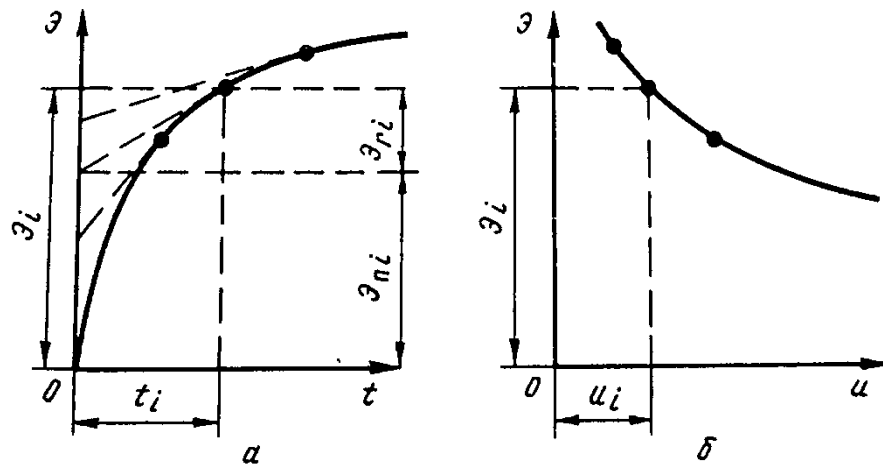


Рис. 1.6. Кривые кинетики осаждения взвеси [52, 74, 75, 76]:

а – эффект осветления воды \mathcal{E} от продолжительности отстаивания t ; б – то же от гидравлической крупности частиц взвеси u ; \mathcal{E}_i – эффект осветления воды, соответствующий времени t_i и гидравлической крупности u_i ; \mathcal{E}_{pi} и \mathcal{E}_{ri} – составляющие эффекты осветления воды \mathcal{E}_i , обусловленные полностью или частично выпадающими частицами взвеси за время t_i

При осаждении агломерирующейся взвеси происходит изменение размера и гидравлической крупности частиц, и, как следствие, изменение скорости их выпадения по высоте, что определяется выражениями (1.11) и (1.12) [52]:

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n \quad (1.11)$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1-n} \quad (1.12)$$

где: $n \leq 1$ – коэффициент агломерации, который определяется экспериментально.

По данным АКХ [20] показатель степени n изменяется в пределах 0,2 – 0,5 для разных видов суспензий и условий обработки воды.

Коэффициент агломерации может также меняться в зависимости от исходной концентрации взвеси, продолжительности отстаивания, условий «стесненного осаждения», и в одном случае это приводит к ускоренному осаждению частиц, в другом случае к замедленному осаждению [41]. Исследованиями процесса осаждения взвеси и гидродинамики потока в горизонтальных и радиальных отстойниках с применением фотоэлементов и термистеров установлено, что осаждение взвеси из движущегося потока жидкости происходит в виде облака, перемещение которого по высоте приводит к перераспределению скоростей и образованию слоев различной плотности [41].

В табл. 1.3 приведены, в качестве примера, данные [41] по скоростям осаждения частиц песка при разном размере частиц и массе облака.

Таблица 1.3

**Зависимость скорости осаждения песка в воде
от массы облака частиц (при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) [41]**

Масса облака, г	Скорость осаждения, см/с, при диаметре частиц, см								
	0,075	0,060	0,050	0,040	0,030	0,025	0,020	0,014	0,012
0,05	10,70	8,30	7,10	5,55	3,70	3,21	2,54	1,88	1,36
0,2	10,79	8,30	7,10	5,55	3,70	3,21	2,54	1,88	1,36
0,5	10,70	8,30	7,10	5,55	3,70	3,21	2,54	1,88	1,36
1	10,70	8,35	7,20	5,70	3,75	3,24	2,84	2,00	1,36
2		9,10	7,80	6,50	4,13	3,50	3,28	2,30	1,56
5		10,80	8,25	6,90	4,27	3,65	3,44	2,54	1,68
10		11,20	8,35	7,08	4,50	3,75	3,49	2,69	1,85
20		11,70	8,70	7,30	4,92	4,05	3,52	2,80	
30		11,60	8,85	7,30	5,06	4,25	3,40	2,80	

В современных типах отстойных сооружений реализуется принцип тонкослойного осаждения взвеси (разделение высоты потока на тонкие слои) [24, 27, 53]. Применение тонкослойных блоков (с высотой слоя воды 25-250 мм) в новых или реконструируемых отстойных сооружениях способствует увеличению удельной гидравлической нагрузки на них, сокращению объемов сооружений и повышению качества очищенной воды. Тонкослойные отстойники и осветлители появились с начала 50-х годов и на практике показали высокую свою эффективность [24, 27, 53].

При моделировании процесса осаждения взвеси (и коагулированной взвеси) изучаемой воды в лабораторных условиях используют цилиндры высотой, соответствующей высоте натуральных отстойных сооружений, либо изучают кинетику осаждения взвеси при разных высотах отстаивания, что усложняет эксперименты. Для моделирования эффективности работы тонкослойных отстойников кинетику осаждения достаточно провести при глубинах, равных натурным или близких к ним. Учитывая небольшой диапазон высот в применяемых тонкослойных отстойниках, эффект осветления по высоте в них меняется не значительно [20, 52, 59].

В качестве примера на рис. 1.7 приведены данные АКХ [20] по кинетике осаждения суспензии глины коагулированной сернокислым алюминием от времени отстаивания при разных высотах слоя, которые показывают малое влияние высоты слоя на эффективность осветления воды при тонкослойном отстаивании (в пределах $h = 5-25$ см).

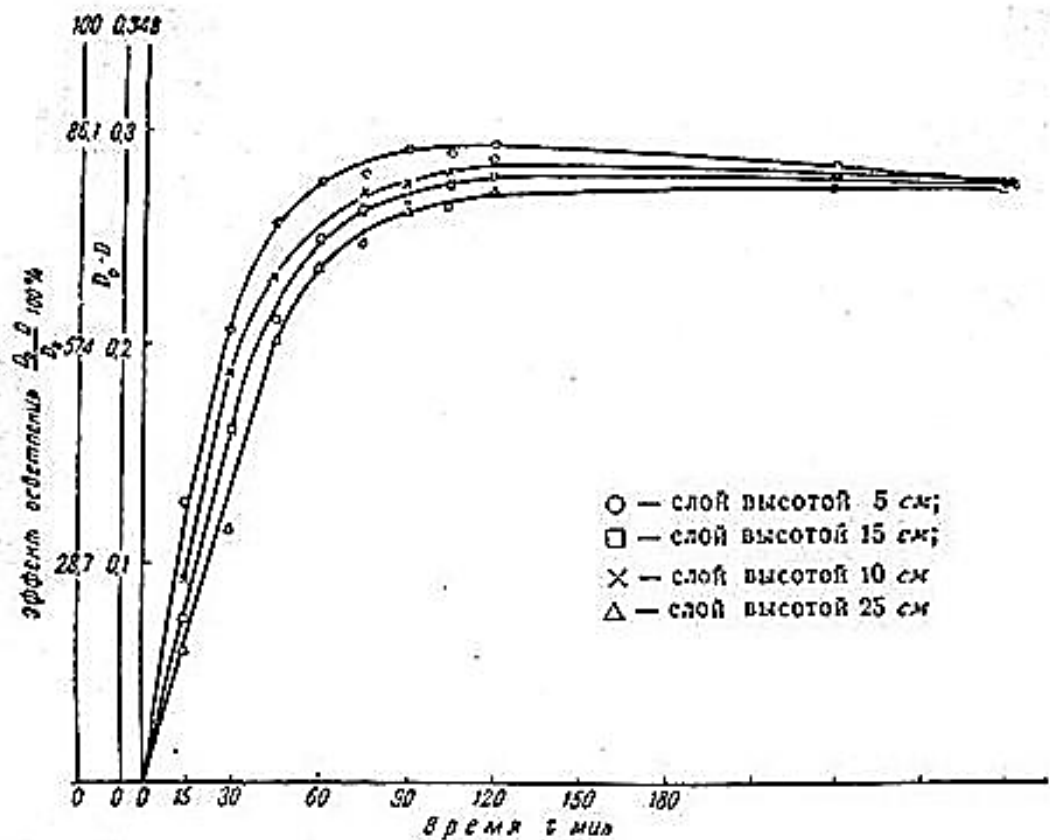


Рис. 1.7. Кинетика осаждения суспензии глины коагулированной сернокислым алюминием от времени отстаивания при разных высотах слоя [20]

Широкими исследованиями по определению кинетики осаждения взвеси для расчета тонкослойных отстойников при очистке стоков производства красной кроющей бумаги было установлено [52], что значения эффекта осветления при глубинах слоя 50 и 200 мм отличаются от среднего эффекта осветления (при глубине слоя 100 мм) не более чем на $\pm 2\%$ (рис. 1.8).

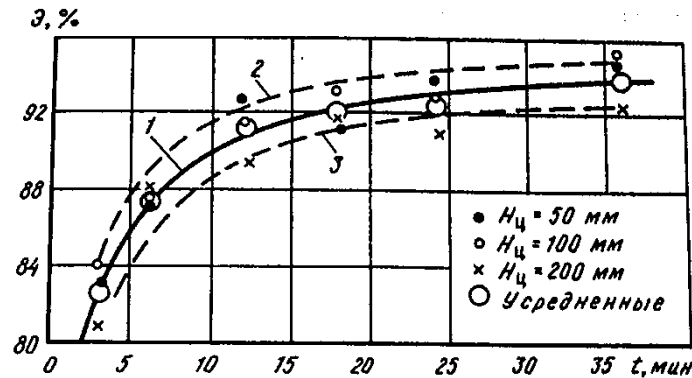


Рис. 1.8. Кривые кинетики осаждения взвеси в слоях разной глубины H [52]:
1 – базовая кривая при $H = 100$ мм; 2 – по расчету при $n = 0,5$, $H = 50$ мм;
3 – то же при $H = 200$ мм

Для повышения точности расчетов рекомендуется [52, 59] определить кинетику осаждения взвеси в слое, глубина которого равна глубине тонкослойного элемента.

При известной зависимости скорости осаждения взвеси от высоты слоя отстаивания можно воспользоваться уравнениями (1.11) и (1.12).

В полочных отстойниках наблюдаются более благоприятные условия выпадения взвеси в сравнении с обычными отстойниками, благодаря лучшим гидродинамическим параметрам, т.к. структура потока в тонком слое приближается к ламинарному режиму.

1.5. Интенсификация процесса коагулирования воды путем применения добавок-утяжелителей

Перспективным способом интенсификации процесса коагуляции представляется использование дополнительно вводимых в обрабатываемую воду добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта, которые способствуют ускорению

процесса коагуляции и осаждению образующихся хлопьев (также и при низких температурах воды [99]). В результате использования утяжелителей при коагуляции возрастает плотность и прочность образующихся хлопьев, как следствие увеличивается их гидравлическая крупность [14].

Ниже приведены литературные данные по изучению и применению указанного способа интенсификации процесса коагуляционной очистки воды.

1.5.1. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта ранее образованного осадка

Обработка воды с рециркуляцией части образованного осадка в камеру коагуляции приводит в некоторых случаях к экономии коагулянта, а также к ускорению процесса осаждения коагулированной взвеси, что объясняется более полным использованием свойств коагулянта и ускоренного формирования хлопьев на поверхности осадка [14, 16, 107]. Использование осадка с этой целью реализуется в осветлителях со взвешенным осадком, осветлителях-рециркуляторах, а также в схемах с подачей образующегося осадка из камер хлопьеобразования, и отстойников в смеситель [14, 47, 60, 92]

Исследованию интенсификации процесса коагуляции воды с рециркуляцией осадка посвящены работы [16, 60, 80, 92, 137 и др.]. По данным [15, 60] коагуляция воды с добавлением осадка из отстойников позволяет сократить дозу коагулянта, сократить время отстаивания и несколько улучшить качество обработанной воды (рис. 1.9).

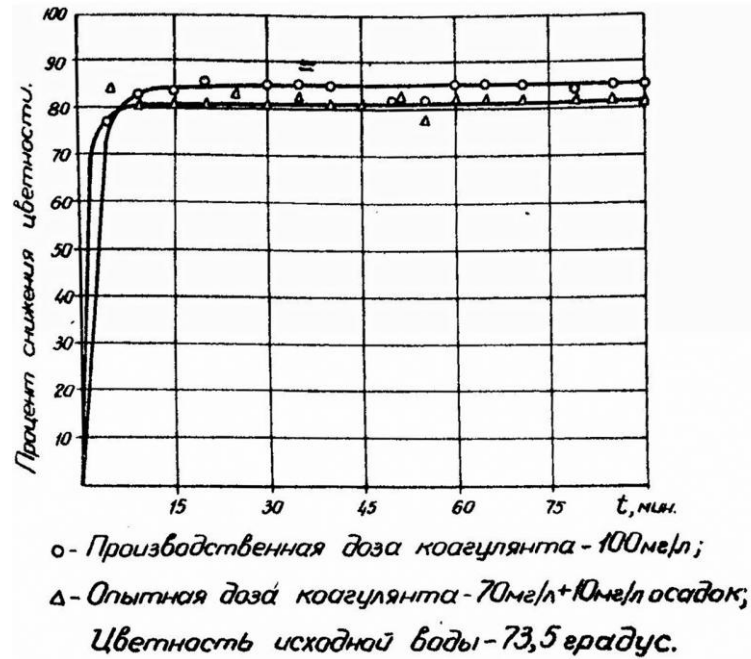


Рис. 1.9 Эффективность обесцвечивания воды коагуляцией с добавлением осадка [60]

Фирмой «Дегремон» (Франция) [107] разработан отстойник *Dansadeg*, в котором предусмотрена рециркуляция сгущенного осадка из зоны тонкослойного отстаивания в зону коагуляции-флокуляции.

Рециркуляция осадка из отстойников, была заложена в технологической схеме работы блока К-6 на Южной водопроводной станции г. Санкт-Петербурга при ее реконструкции (по технологии фирмы «Тахал» (Израиль) (рис. 1.10) [23, 77], однако, по ряду причин она, до настоящего времени не реализуется.

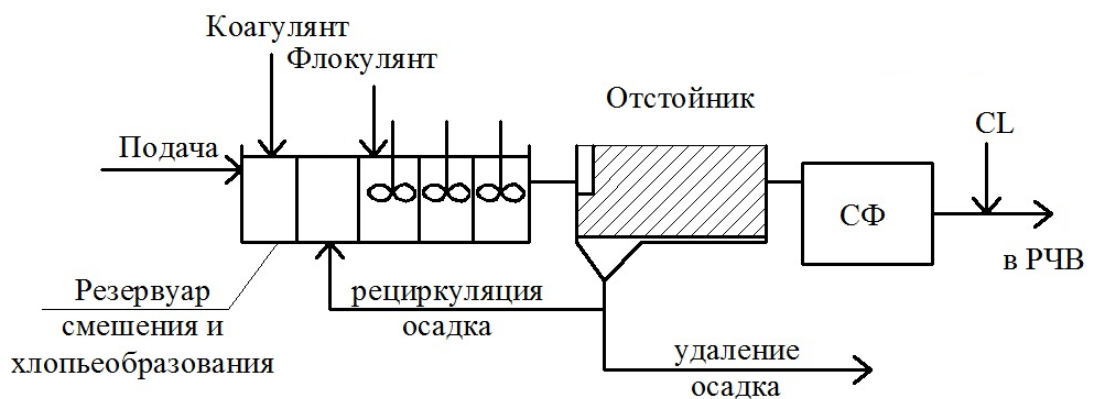


Рис. 1.10. Двухступенчатая очистка воды по технологии фирмы «Тахал»

К недостаткам метода очистки воды с добавлением осадка можно отнести то, что увеличивается грязевая нагрузка на очистные сооружения, может наблюдаться повышение содержания алюминия и снижение щелочности

осветленной воды. Требуемая доза рециркулируемого осадка зависит от температуры и исходной мутности, что требует регулирования расхода подаваемого осадка от этих параметров.

1.5.2. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта микропеска

Французской фирмой «Дегремон» [107, 144, 145] реализована технология «*Actiflo*» с применением в качестве утяжелителя – микропеска (рис. 1.11). Микропесок непрерывно вносится в камеру флокуляции. Для осаждения утяжеленного песком осадка применяют полочный осветлитель. Задержанный осадок направляется на гидроциклон, для извлечения микропеска, который возвращается в процесс, а осадок непрерывно удаляется для последующей переработки.

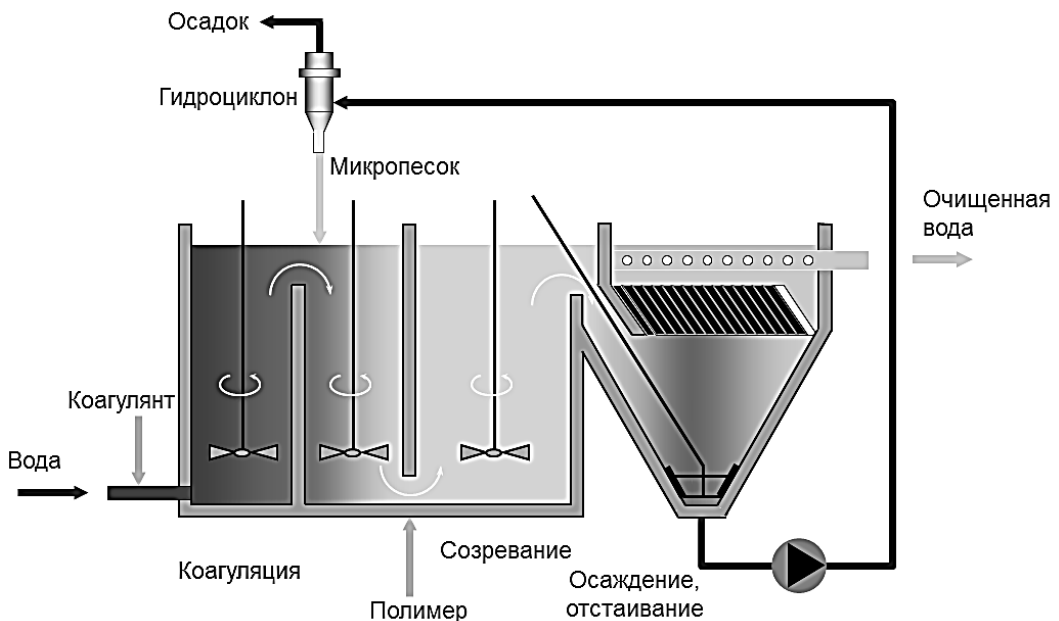


Рис. 1.11. Технология водоочистки «Actiflo» с использованием микропеска

По данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» пилотная установка «Actiflo» была испытана на невской воде. В испытаниях в качестве реагентов использовались сульфат алюминия, разные виды флокулянтов и микропесок. Дозы микропеска составили 4,5-6,5 г/л. Испытания носили разовый характер и

данные об эффективности и параметрах процесса отсутствуют, как и публикации результатов этих испытаний.

По той же технологии были проведены испытания на Восточной станции водоподготовки г. Москвы [108]. Испытания проведены на мобильной пилотной установке, в которой использовали микропесок с размерами частиц 40-200 мкм и дозой 2 г/м³ [108]. Авторы [108] утверждают, что на качество очищенной воды при ускоренном ее осветлении больше всего влияет доза флокулянта (использовался флокулянт *Praestol 650TR* с эффективными дозами 0,2-0,25 мг/л) и без его использования данная технология не работает. Испытания проводились в течение небольшого периода времени, что не позволяет в полной мере оценить их преимущества, полученные данные недостаточны для характеристики процесса и относятся только к воде указанного источника, который не относится к категории цветных вод.

По данным [107], при применении микропеска и полочных осветлителей, площадь отстойных сооружений можно уменьшить примерно в 10 раз по сравнению с традиционной схемой коагуляционной обработкой воды и применением обычных отстойников, однако конкретных технологических параметров этого способа не приводится.

Литературные данные о технологических параметрах способа интенсификации процесса коагулирования воды с введением микропеска весьма малочисленны и разноречивы, технологические параметры данного способа интенсификации процесса коагуляции комплексно не изучены, отсутствуют данные об оптимальных параметрах и условиях их применения при очистке маломутных цветных вод, в том числе при низкой температуре исходной воды и др. Отдельные имеющиеся в литературе сведения относятся к конкретному водному источнику и ограничены условиями эксперимента. В отечественной практике данный способ на водопроводных станциях пока не применяется.

1.5.3. Использование в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта магнетита

Дальнейшее развитие по ускорению процесса коагуляции воды получила технология («*CoMag*») с добавлением в качестве утяжелителя материала более высокой плотности, в частности магнитного железняка Fe_3O_4 (магнетита) [84, 136], который обладает магнитными свойствами.

Удельный вес магнетита почти в два раза выше песка, используемого в технологии «*Actiflo*», поэтому для осветления воды не требуется образования крупных агломератов хлопьев, типичных для обычной коагуляции. При коагуляции примесей воды частицы магнетита вместе с хлопьями коагулянта легко выпадает в осадок, и процесс их осаждения ускоряется.

На рис. 1.12 показано выпадение коагулированной взвеси [84] при традиционной коагуляции и коагуляции с добавлением магнетита после 16 сек отстаивания воды, из которого очевидна эффективность процесса с применением данного утяжелителя.

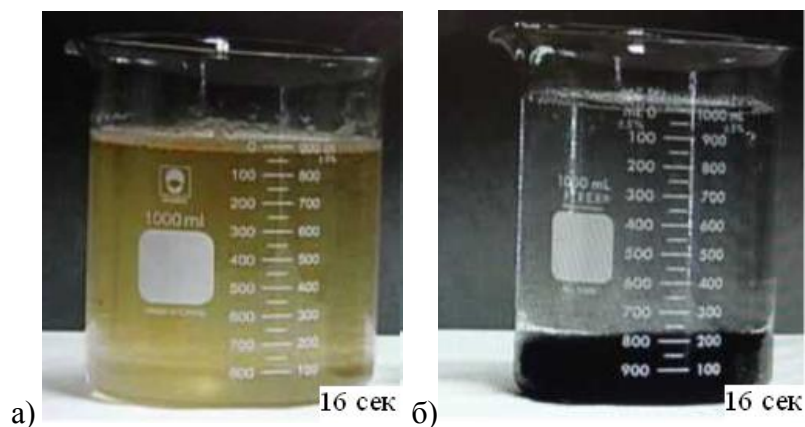


Рис. 1.12. Процесс отстаивания взвеси при традиционной коагуляции (а) и коагуляции воды с добавлением магнетита (б) при $t_{\text{отст.}} = 16$ сек [84]

Технологическая схема обработки воды с использованием магнетита выглядит следующим образом (рис. 1.13) [84, 136]. В состав основных сооружений входят: резервуар смешения и хлопьеобразования, осветлитель и магнитные сепараторы. Вода поступает в резервуар смешения и хлопьеобразования, который разделен на 3 отсека. В первом отсеке воду смешивают с коагулянтом и контролируют показатель pH . Во втором отсеке

происходит добавление частиц магнетита, в третьем – вводится полимер. Затем вода поступает в контактный осветлитель, который имеет наклоненное днище, что способствует тому, чтобы тяжелый осадок с магнетитом сползает к выпускному клапану, при этом отсутствует необходимость в установке скребков.

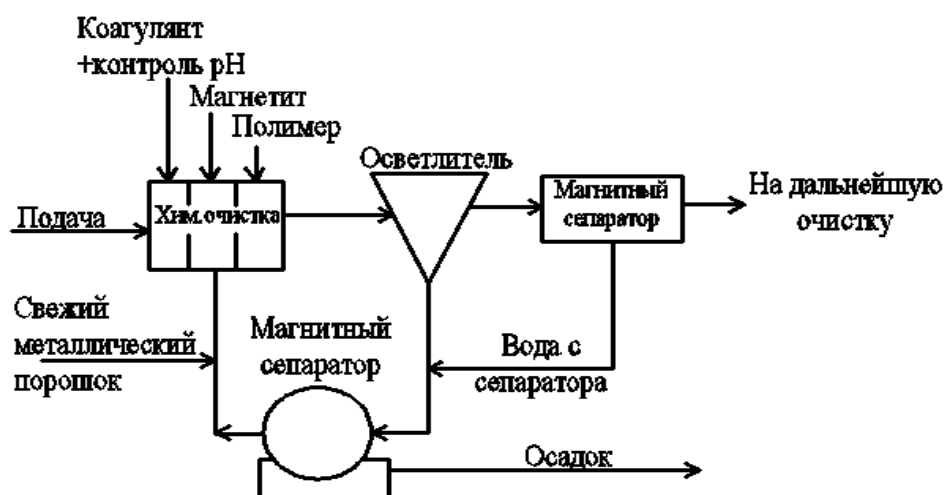


Рис. 1.13. Технологическая схема очистки воды [84]

Для извлечения магнитных частиц прошедших через осветлитель на линии отвода очищенной воды используется магнитный сепаратор. Осветленная вода отправляется на дальнейшую обработку, фильтрацию и обеззараживание. Осадок также проходит через магнитный сепаратор. Магнетит, извлеченный из сепараторов, возвращается в резервуар смешения и хлопьеобразования для повторного использования.

Технология осветления воды коагуляцией с применением магнетита рекомендуется как для очистки поверхностных природных вод, так и для очистки сточных вод.

Существует также технология очистки воды с целью снижения ее цветности, удаления взвешенных веществ и некоторых металлов «*Sirofloc*» [22, 131, 143], где так же используется мелкозернистый магнетит. Отличается эта технология от ранее рассмотренной тем, что осаждение магнетита, с загрязняющими примесями, интенсифицируется воздействием магнитного поля (рис. 1.14). Осадок регенерируется для последующего использования магнетита. В

целях удаления избыточного магнетита, вода подвергается фильтрации, затем отправляется в распределительную сеть.

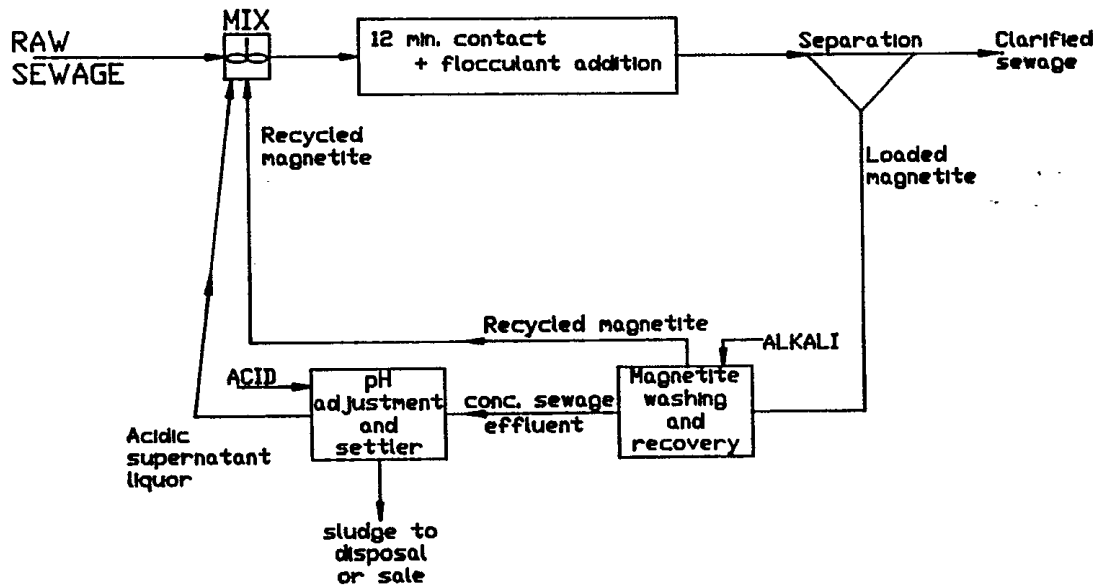


Рис. 1.14. Схема очистки воды методом «Sirofloc» [143]

Достоинством этой схемы, реализованной для очистки сточных вод, является более высокий эффект очистки, по сравнению с другими технологиями [143]. В то же время, в источниках не приводится результатов испытаний этой технологии, не дается сравнения ее с другими известными схемами, которые могли бы дать представления о приводимых достоинствах, отсутствуют данные о технологических параметрах процесса, что не позволяет использовать эту технологию на практике. Следует отметить и достаточную сложность и высокую стоимость этой технологии очистки воды, кроме того, при обработке воды с низким щелочным резервом, возникают опасения повышения содержания железа в обработанной воде.

Таким образом, для интенсификации процесса коагуляции и повышения эффективности очистки маломутных цветных вод перспективным является введение в воду различных добавок, которые служат утяжелителями, ускоряющими процесс их осаждению при отстаивании. Литературные данные по использованию утяжелителей при очистке маломутных цветных вод весьма малочисленны и разноречивы, что не дает возможности их практического использования. Технологические параметры данного способа интенсификации

процесса коагуляции комплексно не изучены, не выявлены оптимальные параметры и условия его проведения при применении различных видов добавок-утяжелителей, в частности, отечественного производства (дозы и фракционный состав, порядок их ввода и условия перемешивания с реагентами), эффективность их применения при очистке маломутных цветных вод, том числе при низкой температуре исходной воды и др.

В отечественной практике данный метод на водопроводных станциях пока не применяется, как нет и опыта использования для казанной цели материалов, производимых отечественной промышленностью. Необходимо проведение комплексных исследований по определению всех оптимальных параметров и условий проведения процессов коагуляции, флокуляции и отстаивания обработанных цветных вод при применении различных видов добавок-утяжелителей из материалов, производимых отечественной промышленностью.

Выводы по 1 главе

В результате анализа литературных источников можно сделать следующие выводы:

1. Поверхностные водоемы северного и северо-западного регионов России относятся к категории маломутных цветных вод. Основным показателем их качества является цветность, которая характеризуется основной группой органических веществ (гуминовых кислот и фульвокислот).

2. Особенностью очистки маломутных цветных вод является вялое протекание процессов коагуляции воды с образованием мелких плохо оседающих хлопьев, не полностью задерживаемые в отстойниках, особенно при низкой температуре исходной воды. Это приводит к ухудшению осветления воды, что не позволяет гарантировать получение стабильного качества очищенной вод.

3. Для выделения коагулированных хлопьев коагулянта с примесями из воды используют современные типы отстойных сооружений, которые реализуются на принципе тонкослойного осаждения взвеси. Применение тонкослойных блоков (с высотой слоя воды 25-250 мм) в отстойных сооружениях способствует увеличению удельной гидравлической нагрузки на них, сокращению объемов сооружений и повышению качества очищенной воды. Для моделирования эффективности работы тонкослойных отстойников определяют кинетику осаждения взвеси, ее достаточно проводить при глубинах, равных натурным или близким к ним.

4. Перспективным направлением по интенсификации процесса коагуляции и повышению эффективности очистки воды является введение в воду различных добавок, которые играют роль центров хлопьеобразования и служат утяжелителями, ускоряющими процесс их осаждению при отстаивании. В качестве добавок-утяжелителей при очистке природных и сточных вод можно использовать: ранее образованный осадок, микропесок и магнетит. Литературные данные по использованию этого способа весьма малочисленны и разноречивы, что не дает возможности его практического применения, технологические

параметры данного способа интенсификации процесса коагуляции комплексно не изучены, не выявлены оптимальные параметры и условия его проведения при применении различных видов добавок-утяжелителей, в частности, отечественного производства (дозы и фракционный состав, порядок их ввода и условия перемешивания с реагентами), эффективность их применения при очистке маломутных цветных вод, том числе при низкой температуре исходной воды и др. В отечественной практике данный способ на водопроводных станциях пока не применяется.

6. На ход процесса коагуляции воды существенное влияние оказывают качество исходной воды, интенсивность ее перемешивания, вид и дозы реагентов, температура воды и др. Очевидно, что оптимальные технологические параметры процесса коагулирования воды с введением добавок-утяжелителей будут отличаться от параметров проведения обычной коагуляции, и должны определяться для конкретных видов обрабатываемых вод экспериментальным путем в зависимости от свойств обрабатываемой воды, а также условий ее обработки.

На основании вышеизложенного с целью интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод были поставлены следующие задачи:

- выбор видов добавок-утяжелителей отечественного производства, проведение экспериментальных исследований по определению эффективности коагуляционной очистки с добавлением разных видов добавок;

- выявление эффективности и области применения различных видов добавок-утяжелителей отечественного производства, определение наиболее эффективных параметров различных видов добавок-утяжелителей (доз и фракционного состава), порядка их ввода в обрабатываемую воду; определение условий перемешивания при проведении процесса коагуляции маломутных цветных вод с добавлением разных утяжелителей;

- определение сравнительной кинетики осаждения хлопьев коагулянта с добавлением разных утяжелителей при коагуляции маломутных цветных вод;

- проведение экспериментальных исследований по интенсификации процесса коагуляции воды р. Невы с применением добавок-утяжелителей при разных температурах исходной воды и в условиях низких температур (ниже 5 °С);
- проведение производственных испытаний при очистке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей;
- обобщение и анализ экспериментальных данных, получение расчетных зависимостей для определения эффективности очистки маломутных цветных вод с применением разных добавок-утяжелителей отечественного производства;
- выбор технологических схем обработки маломутных цветных природных вод с применением различных добавок-утяжелителей и определение области их применения.
- разработка рекомендаций для расчета и проектирования сооружений по обработке маломутных цветных природных вод с применением различных видов добавок-утяжелителей.

ГЛАВА 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Объекты исследований

Объектом экспериментальных исследований по интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод являлись модельные растворы, а также природная вода р. Невы.

Первая часть исследований проводилась в СПбГАСУ (Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете) в лаборатории кафедры водопользования и экологии на модельных растворах, имитирующих качество маломутных цветных вод поверхностных источников. Модельные растворы цветных вод готовили из торфяной вытяжки. Концентрированные рабочие растворы торфяной вытяжки разбавляли водопроводной водой до уровня цветности поверхностных источников северного и северо-западного районов РФ. Качество искусственно приготовленных вод на период проведения исследований характеризовалось следующими показателями, приведенными в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Физико-химические показатели качества модельных растворов

Показатели	Единицы измерения	Минимум	Среднее	Максимум
Температура	°С	22,0	23,0	24,0
Цветность	град.	54,0	64,5	75,0
Мутность	мг/л	19,0	25,0	31,0
рН	ед.	6,3	6,75	7,2
Щелочность	ммоль/л	0,20	0,47	0,73

Вторая часть лабораторных исследований проводилась в химико-бактериологической лаборатории южной водопроводной станции (ХБЛ ЮВС) ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» на природной воде р. Невы в зимнее время.

Пробы исходной воды для лабораторных исследований отбирались на блоке К-6 ЮВС. Место отбора проб воды – на входе в систему гидравлического перемешивания (гидравлический прыжок) воды с коагулянтом, куда подавалась

природная нельская вода, а также промывная вода после ее очистки. Для проведения лабораторных опытов при отборе проб воды на гидравлическом прыжке подача коагулянта отключалась на 3-5 мин.

В период проведения исследований (с 10.12.2013 по 30.03.2014) обрабатываемая вода характеризовалась показателями, приведенными в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные физико-химические показатели, обрабатываемой воды

Показатели	Единицы измерения	Качества воды р. Невы в период проведения исследований			Качество обрабатываемой воды (невская вода и очищенная промывная вода) в период проведения исследований		
		мин. зн.	сред. зн.	макс. зн.	мин. зн.	сред. зн.	макс. зн.
Температура	°С	0,40	1,55	2,70	0,50	2,0	3,50
Мутность	мг/л	0,70	2,45	4,20	1,00	4,3	7,60
Цветность	град.	34,00	37,5	41,00	27,00	32,5	38,00
рН	ед.	7,26	7,43	7,60	7,20	7,45	7,70
Щелочность	ммоль/л	0,55	0,62	0,68	0,55	0,62	0,68
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /л	7,80	8,45	9,10	5,60	7,55	9,50
Железо	мг/л	0,02	0,07	0,12	0,02	0,07	0,12
Растворенный алюминий	мг/л	-	-	-	0,01	0,06	0,10

2.2. Исходные материалы, аппаратура и основное оборудование

В качестве добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта в исследованиях применялись следующие материалы, производимые на территории РФ.

При проведении предварительных испытаний в СПбГАСУ использовали:

1. Кварцевый песок (фракция 0-0,63 мм) ГОСТ 2138-91 [32] (насыпная плотность $\rho = 1,4-1,6 \text{ г/см}^3$, истинной плотностью $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества приведен в приложении Б.

2. Железный порошок ПЖР 3.200 (фр. 0-0,63 мм) ГОСТ 9849-86 [38] (насыпная плотность $\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$, истинная плотность $\rho = 7,88 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества приведен в приложении В.

3. Магнетит природный (Fe_3O_4) (фр. 0-0,56 мм) ГОСТ 25473-82 [33] (насыпная плотность $\rho = 2,4-2,8 \text{ г/см}^3$, истинная плотность $\rho = 4,9-5,2 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества приведен в приложении Г.

При проведении лабораторных исследований в ХБЛ ЮВС и при производственных испытаниях на комплексе очистных сооружений Южной водопроводной станции (блок К-6 ЮВС) г. Санкт-Петербурга использовали:

1. Кварцевый песок соответствующий ТУ 5711-009-80531125-200 (фр. 0,1-0,3 мм) (насыпная плотность $\rho = 1,4-1,6 \text{ г/см}^3$, истинной плотностью $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества и экспертное заключение приведены в приложении Д.

2. Железный порошок ПЖ 3.200 ГОСТ 9849-86 [38] (насыпная плотность $\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$, истинная плотность $\rho = 7,88 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества приведен в приложении В.

3. Мрамор молотый (микрокальцит) (фр. 0,1 мм), соответствующий ТУ 5716-001-12574404-2013 (насыпная плотность $\rho = 1,1-1,4 \text{ г/см}^3$, истинной плотностью $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$). Паспорт качества приведен в приложении Е.

4. Смесь кварцевого песка и железного порошка.

5. Осадок из отстойников влажностью 95-97 %.

6. Смесь осадка из отстойников и кварцевого песка.

При определении гранулометрического состава добавок-утяжелителей, применяемых в исследованиях, были использованы аттестованные сита с размером отверстий: 0,05; 0,071; 0,08; 0,09; 0,14 мм.

В качестве реагентов при предварительных лабораторных исследованиях в СПбГАСУ применялись следующие реагенты: коагулянт – алюминий сернокислый 18-водный ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) (1 % раствор) по ГОСТ 3758-75 [37] и подщелачивающий реагент – кальцинированная сода Na_2CO_3 (1 % раствор).

При проведении лабораторных исследований в Химико-бактериологической лаборатории ЮВС ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и при проведении производственных испытаний на блоке К-6 ЮВС применялись: коагулянт –

алюминий сернокислый 18-водный ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), флокулянт *Flopat FO-4290 PWG*.

Мутность и цветность в исходной воде и в воде после обработки, определялись на фотоэлектрическом колориметре КФК-2МП, мутномер *2100AN Turbidimeter*, фотометр *Unico 2100* [36].

Для измерения значений водородного показателя *pH* использовали *pH*-метр. Щелочность определяли по ЦВ 1.01.11-98 А «Методика выполнения измерений щелочности в пробах питьевой и природной воды титриметрическим методом» [122], перманганатную окисляемость по ЦВ 1.01.14-98 А «Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости проб питьевых и природных вод» [123], содержание ионов алюминия на *Unico 1200 Spectrophotometer* (ГОСТ 18165-89 [31]) и концентрацию железа на КФК 2 по ЦВ 1.04.46-00 «Методика выполнения измерений массовой концентрации железа в пробах питьевых и природных вод фотометрическим методом» [124] в воде определены по стандартным методикам.

Взвешивание материалов производилось на электронных весах ВЛЭ-110 и на аналитических электронных весах *GR-200*, которые имеют дискретность 0,01 мг (ГОСТ 24104-2001 [34]).

Перемешивание воды с реагентами и добавками-утяжелителями при коагуляционной обработке маломутных цветных вод проводили с использованием перемешивающего устройства марки *US-2200D*.

2.3. Программа лабораторных исследований

Первая часть лабораторных исследований проводилась в 2 этапа. Исследования первого и второго этапов по интенсификации процесса коагулирования воды проводились без применения флокулянтов.

1-ый этап исследований проводился с целью определения оптимальных условий процесса коагуляции маломутных цветных вод при введении разных видов добавок-утяжелителей. Процесс коагуляции проводился на приготовленных модельных растворах маломутных цветных вод, состав которых при подготовке

подбирался таким образом, чтобы в наибольшей степени соответствовать качеству воды поверхностных источников северного и северо-западного районов РФ. Эксперименты по коагулированию воды проводились при температуре исследуемой воды 22-24 °С.

На первом этапе определялись:

- возможность применения в качестве добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта кварцевого песка, магнетита и железного порошка (раздел 2.2);
- технологические параметры добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта (фракции, дозы), место их ввода в исследуемую воду, кинетика выпадения хлопьев коагулянта с разными видами добавок-утяжелителей;
- оптимальное время отстаивания воды после коагулирования с использованием разных видов утяжелителей;

2-й этап исследований проводился с целью определения интенсивности перемешивания для взмучивания выпавших в осадок добавок-утяжелителей, оптимальных условий перемешивания воды и реагентов с вводимыми добавками-утяжелителями. В частности, определялись:

- интенсивность перемешивания, необходимая для взмучивания выпавших в осадок добавок-утяжелителей, при остановке процесса коагулирования воды на несколько дней;
- оптимальные условия перемешивания быстрого (на стадии смешения) и медленного (на стадии хлопьеобразования), в частности продолжительность и интенсивность перемешивания раствора коагулянта с вводимыми утяжелителями.

3-12-ый этапы исследований проводились на природной воде р. Невы в зимний период в химико-бактериологической лаборатории ЮВС Санкт-Петербурга. Данные опыты по интенсификации процесса коагулирования невской воды проводились с применением флокулянта. Температура обрабатываемой воды составляла 3-27 °С.

Исследования проводились с целью:

- проверки ранее полученных (в ходе первого и второго этапов исследований) параметров проведения процесса коагулирования невской воды с использованием добавок-утяжелителей (3 этап);

- определения возможности проведения коагуляции воды с использованием добавок-утяжелителей при условиях, принятых на производственных сооружениях блока К-6 (4 этап);

- определения оптимальных условий перемешивания при коагулировании невской воды с введением утяжелителей хлопьев коагулянта (кварцевого песка и железного порошка) (5 этап);

- целесообразности применения смеси кварцевого песка и железного порошка при коагулировании невской воды и разных местах их ввода в обрабатываемую воду (6 этап);

- изучения возможности снижения доз реагентов при использовании утяжелителей (7 этап);

- определения оптимальных доз вводимых утяжелителей при коагулировании невской воды ($t_{\text{воды}} < 5,0 \text{ } ^\circ\text{C}$) с использованием флокулянта (8 этап);

- определения изменений содержания железа в обработанной воде после коагулирования воды с использованием в качестве утяжелителей железосодержащих добавок (9 этап);

- сравнительного анализа хода процесса коагулирования невской воды с добавками-утяжелителями (кварцевого песка и железного порошка) при разной температуре воды ($t_{\text{воды}} > 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $t_{\text{воды}} < 5,0 \text{ } ^\circ\text{C}$) (10 этап).

- определения параметров коагуляции воды с использованием в качестве утяжелителя микрокальцита (11 этап);

- определение кинетики выпадения коагулированной взвеси с использованием добавок-утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка, микрокальцита) (12 этап).

13-й этап исследований проводился на очистных сооружениях блока К-6 (ЮВС) г. Санкт-Петербурга. Целью исследований являлась проверка

эффективности процесса коагуляции воды с применением добавок-утяжелителей (кварцевого песка) в производственных условиях.

Так же в соответствии с технологией очистки невской воды на блоке К-6 ЮВС проводились исследования по определению эффективности коагулирования воды с использованием в качестве добавки-утяжелителя ранее образованный осадок из отстойника (14 этап). Дополнительно, в качестве добавки-утяжелителя исследовали смесь песка и кварцевого песка (15 этап).

2.4. Методика проведения экспериментальных исследований

Лабораторные исследования по интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод, как с использованием добавок-утяжелителей, так и без них проводили на установке, показанной на рис. 2.1. Установка состоит из трех мешалок пропеллерного типа, с возможностью регулирования скорости их вращения в диапазоне от 50 до 1000 об/мин.

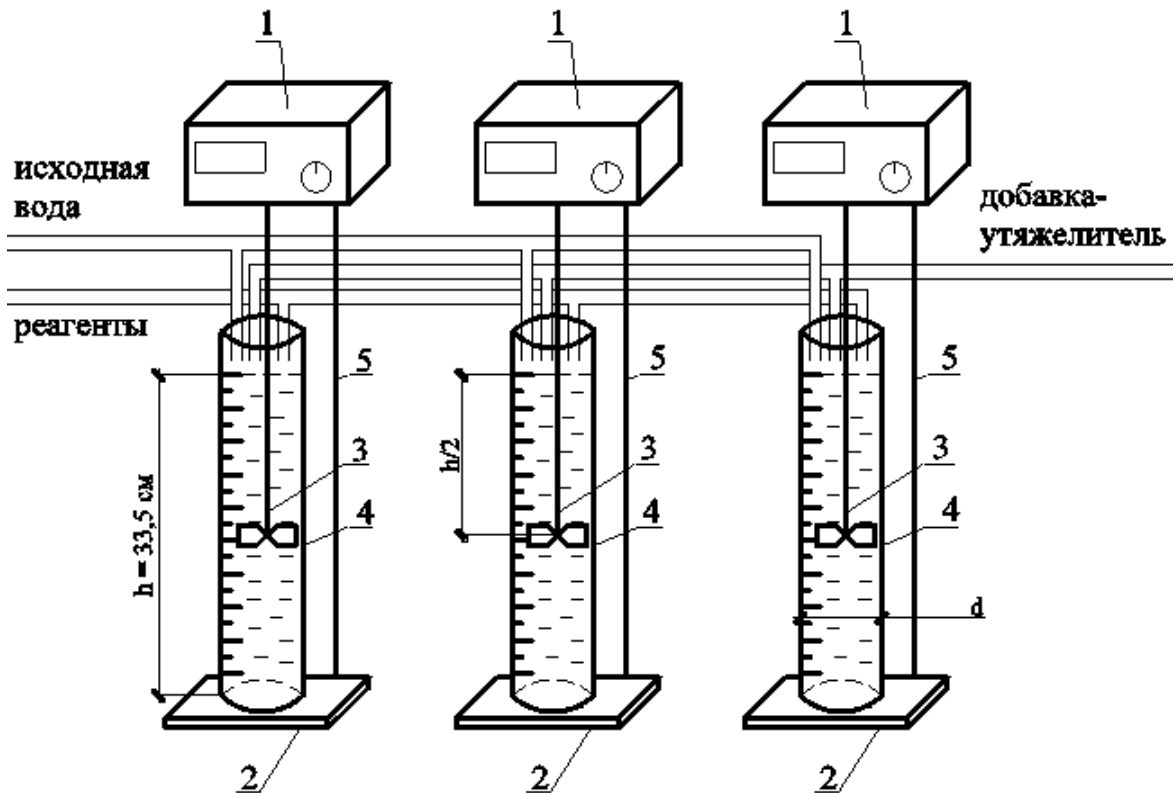


Рис. 2.1. Общий вид установки: 1 – регулирующее устройство; 2 – платформа; 3 – мешалка; 4 – стакан с обрабатываемой водой; 5 – штатив.

В каждом стакане предусмотрена своя мешалка, с помощью которой происходит смешение вводимых реагентов и добавок-утяжелителей с водой. С помощью данной установки задавали различное время и скорость перемешивания при коагулировании обрабатываемой воды.

В табл. 2.3 и на рис. 2.2 приведена зависимость градиента скорости от скорости вращения мешалки для установки по коагулированию воды, полученные по данным [73] и собственным данным.

Таблица 2.3

Параметры установки по перемешиванию реагентов и добавок-утяжелителей с обрабатываемой водой

Скорость вращения мешалки n , об/мин	Градиент скорости перемешивания, G , с^{-1}
15	7
50	30
60	38
100	72
150	120
300	285
600	678

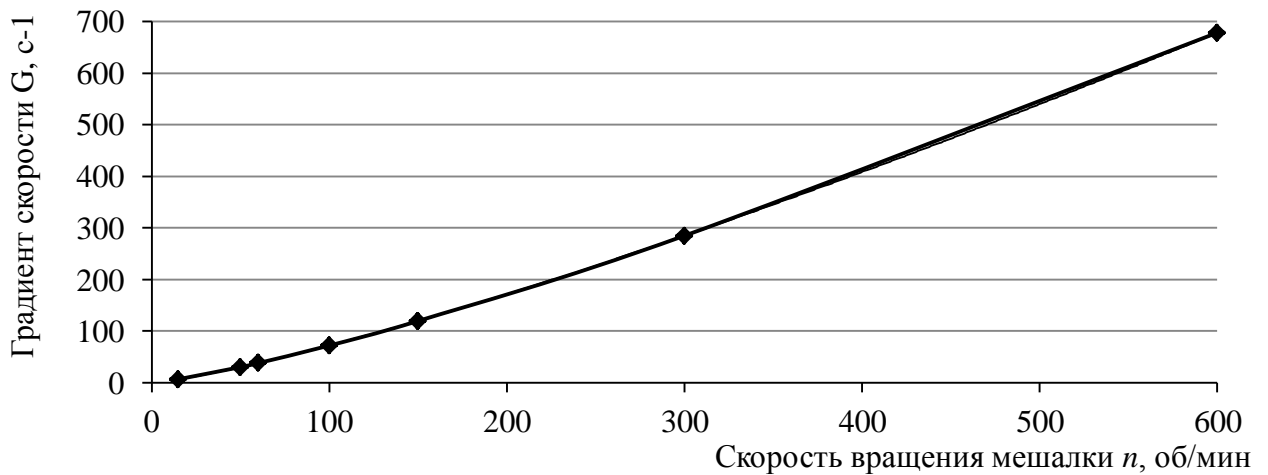


Рис. 2.2. Параметры перемешивания воды с использованием добавок-утяжелителей

Обработкой приведенных выше данных получено эмпирическое уравнение (2.1), описывающее данную зависимость.

$$G = 0,2262 \cdot n^{1,2515} \quad (2.1)$$

где G – градиент скорости перемешивания, с^{-1} ; n – скорость вращения мешалки, об/мин.

Дозы реагентов при проведении предварительных опытов определяли путем пробного коагулирования (стандартная методика) [39]. В качестве дозы коагулянта при коагуляции модельных растворов воды принимали дозу, при которой остаточная цветность была менее 20 град. При этой дозе обеспечивались требования ГН 2.1.5.1315-03 [30]: по остаточному алюминию (0,2 мг/л) и железу (0,3 мг/л).

На рис. 2.3 приведено верхнеприводное перемешивающее устройство, предназначенное для пробного коагулирования воды с целью определения оптимальной дозы реагентов при коагулировании модельных растворов и невской воды.



Рис. 2.3. Перемешивающее устройство: 1 – привод устройства; 2 – платформа прибора; 3 – мешалка с лопастями; 4 – стакан с обрабатываемой водой; 5 – штатив.

Устройство имеет цифровой дисплей, позволяющий осуществлять регулирование количества оборотов при перемешивании обрабатываемой воды в широком диапазоне от 50 до 2200 об/мин. Скорость вращения мешалки изменяли от 50 до 800 об/мин, с помощью регулятора скорости.

При коагулировании модельных растворов маломутных цветных вод предварительно производили ее подщелачивание раствором соды, т. к. вода имела низкий щелочной резерв. Затем в воду дозировали коагулянт с оптимальной его

дозой. Смешение реагентов с обрабатываемой водой производили в стаканах емкостью 1 л.

При проведении процесса коагуляции на модельных растворах с использованием добавок-утяжелителей, добавки вводились в воду в начале быстрого перемешивания вместе с коагулянтом. Затем снижали скорость и производили медленное перемешивание (процесс хлопьеобразования), после чего воду отстаивали. После окончания отстаивания из верхней части стаканов отбирались пробы осветленной воды и определяли показатели мутности и цветности.

Изучение кинетики осаждения коагулированной взвеси при отстаивании проводили по стандартной методике, результаты использовались для построения кривых осаждения коагулированной взвеси.

Сравнительные исследования процесса коагуляции воды р. Невы проводились без добавок и с введением добавок-утяжелителей. Дозы реагентов принимали в соответствии с дозами, действующими на ЮВС в период проведения исследований, которые были определены по результатам пробной коагуляции ХБЛ ЮВС СПб (стандартная методика). Оптимальными дозами реагентов служили дозы, при которых наблюдался наибольший эффект очистки, а также при которых образовывались крупные хлопья коагулянта.

Коагулянт дозировали в виде 1 %-ого по Al_2O_3 раствора, дозирование флокулянта осуществлялось 0,01 % раствором. Реагенты дозировали в обрабатываемую воду с помощью микродозатора. Смешение реагентов с обрабатываемой водой производили в стаканах емкостью 1 л.

При проведении коагулирования невской воды утяжелители вводились в воду вместе с коагулянтом при быстром перемешивании, затем производилось снижение скорости до медленного перемешивания с дозированием флокулянта. Для поддержания температуры воды в холодный период года отстаивание и хранение проб коагулированной воды производилось в холодильной камере.

Отбор проб воды на анализ производился в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 [35].

В лабораторных опытах по определению эффективности применения различных видов добавок-утяжелителей и их сравнению, использовались лабораторные цилиндры высотой 20,0 и 33,5 см, пробы осветленной воды отбирались с одинаковой высоты из верхней части стаканов ($h = 50$ мм).

Качество исходной воды после отстаивания и после фильтрования определяли по следующим показателям: мутность, цветность, водородный показатель (pH), щелочность, перманганатная окисляемость, содержание алюминия и железа по стандартным методикам.

Все лабораторные опыты проводились при одинаковых условиях не менее трех раз, для обеспечения достоверности полученных данных.

В соответствии с технологией очистки невской воды на блоке К-6 ЮВС СПб определялась эффективность коагулирования воды с использованием в качестве добавки-утяжелителя ранее образованный осадок из отстойника при разных его дозах, а также смеси осадка из отстойника и кварцевого песка.

Для проведения опытов по коагулированию невской воды с использованием осадка из отстойника отбор проб осадка осуществлялся на комплексе очистных сооружений блока К-6 ЮВС. Методика проведения процесса коагулирования воды с добавкой осадка была такой же, что и с другими добавками, а условия перемешивания принимались аналогичными параметрам производственного процесса коагуляции воды.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА КОАГУЛИРОВАНИЯ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД ПРИ ВВЕДЕНИИ РАЗНЫХ ВИДОВ ДОБАВОК-УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ

В настоящей главе представлены результаты лабораторных исследований по интенсификации процесса коагуляции при очистке маломутных цветных вод путем применения различных видов добавок-утяжелителей.

Под интенсификацией процесса коагуляции понимается повышение скорости формирования хлопьев, увеличение их адгезионной способности, сокращение времени выделения хлопьев вместе с примесями обрабатываемой воды, что в конечном итоге повышает эффективность осветления воды.

Исследования проводились на модельных растворах (без применения флокулянта), имитирующих воды поверхностных водоемов Северо-Запада РФ и относящихся к категории маломутных цветных вод, а также на реальной природной воде р. Невы (с использованием коагулянта и флокулянта).

3.1. Условия процесса коагулирования с введением разных видов добавок-утяжелителей при обработке модельных растворов.

Целью исследования являлась сравнительная оценка эффективности проведения процесса коагулирования маломутных цветных вод с применением разных видов добавок-утяжелителей и без их использования, определение условий проведения процесса коагуляции на модельных растворах. Опыты проводились без применения флокулянтов. Качество исследуемой воды характеризовалось следующими показателями (соответствующими составу поверхностных вод северо-западного региона): цветность находилась в диапазоне от 54 до 75 град, мутность – 19-31 мг/л, щелочность – 0,2-0,73 ммоль/л, pH – 6,3-6,5, температура воды – 22-24 °С.

В опытах использовался коагулянт сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и подщелачивающий реагент – кальцинированная сода Na_2CO_3 . Оптимальные дозы реагентов определены пробным коагулированием по стандартной методике. В

качестве добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта применялись кварцевый песок, железный порошок и магнетит отечественного производства.

3.1.1. Кинетика выпадения осадка при коагулировании воды с применением различных добавок-утяжелителей

Опыты по кинетике выпадения осадка проводились с оптимальной дозой коагулянта (12,0 мг/л по Al_2O_3) без добавок и с добавками кварцевого песка, железного порошка и магнетита при дозе утяжелителей 2 г/л. Условия проведения опытов были следующими: быстрое перемешивание со скоростью 350-500 об/мин, медленное – 120-150 об/мин., время отстаивания $t_{отст.} = 30,0$ мин

На рис. 3.1. показаны кривые выпадения осадка при традиционной коагуляции воды (без введения добавок), а также при коагуляции с применением добавок-утяжелителей (песка, железного порошка и магнетита) с крупностью частиц до 0,63 мм.

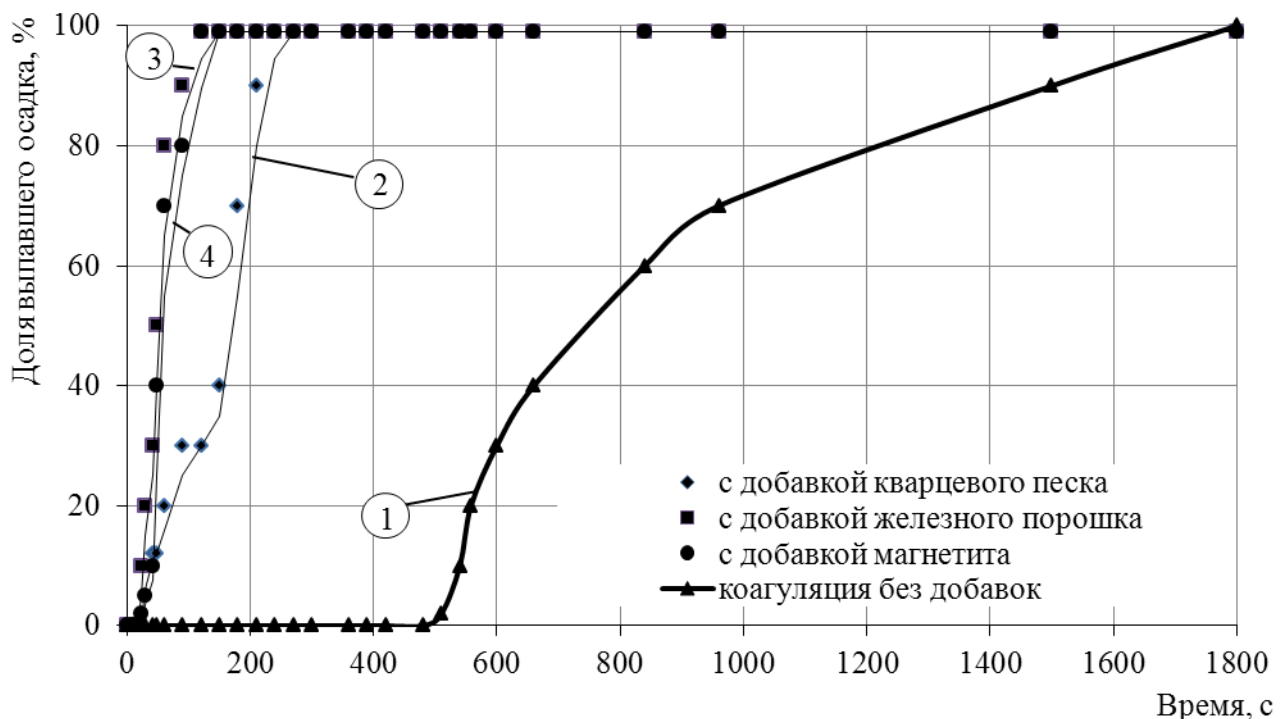


Рис. 3.1. Кривые кинетики осаждения коагулированной взвеси: 1 – без добавок; 2 – с добавкой кварцевого песка; 3 – с добавкой железного порошка; 4 – с добавкой магнетита

Время завершения процесса выпадения осадка (рис. 3.1) составляло: при коагуляции воды без введения добавок – 30,0 мин; при коагуляции воды с

использованием в качестве добавки кварцевого песка – 3,0-5,0 мин; при коагуляции воды с добавлением магнетита и железного порошка – 1,0-1,5 мин.

Таким образом, как показали результаты опытов (рис. 3.1), при применении добавок-утяжелителей время выпадения осадка и, соответственно, продолжительность отстаивания обработанной воды сокращаются в 6-10 раз при добавлении кварцевого песка, и в 20-30 раз при добавлении магнетита и железного порошка [116, 118].

По кривым выпадения осадка с добавками-утяжелителями (кварцевым песком, железным порошком, магнетитом) (рис. 3.1) было определено изменение скорости его осаждения при разных высотах отстаивания (от 50 мм до 200 мм) и вычислен средний коэффициент агломерации n по формуле (1.11) (табл. 3.1.1).

Таблица 3.1.1

Значение коэффициента агломерации n при выпадении осадка с утяжелителем и без него

Вид осадка	Среднее значение коэффициент n
Осадок при коагуляции воды (гидроокись алюминия с веществами цветности и флокулянтном)	0,373
Осадок при коагуляции воды (гидроокись алюминия с веществами цветности и флокулянтном) + кварцевый песок (утяжелитель)	0,393
Осадок при коагуляции воды (гидроокись алюминия с веществами цветности и флокулянтном) + железный порошок (утяжелитель)	0,427

Полученные значения коэффициента агломерации n (табл. 3.1.1) близки к данным АКХ для коагулированной минеральной взвеси (песка) [20].

3.1.2. Влияние размера фракций частиц разных добавок-утяжелителей, вводимых при коагуляции, на качество осветленной воды

При определении эффективных размеров фракций добавок-утяжелителей испытывались следующие материалы [119]: кварцевый песок с размером частиц от 0,05 до 0,63 мм, железный порошок с фракцией 0,05-0,63 мм и магнетит с фракцией 0,05-0,56 при дозе утяжелителей 2 г/л (табл. 3.1.2).

**Влияние фракции разных добавок-утяжелителей
на качество очищенной после отстаивания воды**

Качество отстоянной воды	Фракции добавок-утяжелителей, мм				
	фр. до 0,05	фр. 0,05-0,14	фр. 0,071-0,08	фр. 0,09-0,14	фр. 0,14-0,63 (0,56)
кварцевый песок					
М, мг/л	19,5	16,2	17,5	16,2	19,4
Ц, град	47,3	40,8	43,8	40,6	48,1
железный порошок					
М, мг/л	9,0	16,2	35,9	39,1	39,1
Ц, град	23,3	40,8	89,4	96,0	96,0
магнетит					
М, мг/л	21,0	26,1	30,3	31,0	32,0
Ц, град	49,8	58,6	76,0	78,0	80,0

Примечание: В табл. 3.1.2 приведены средние значения показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 5,6\%$, по цветности – $\pm 3,7\%$.

Результаты опытов по коагуляции воды с добавлением кварцевого песка показали, что лучшие результаты по осаждению хлопьев достигались при применении фракций песка с размерами от 0,05 до 0,14 мм. Использование более мелких частиц песка (менее 0,05 мм) приводило к ухудшению их осаждения, т.к. при этом образовывалось большое количество мелких, плохо оседающих хлопьев. При коагулировании воды с применением более крупных фракций песка (более 0,14 мм) наблюдалось быстрое осаждение крупных частиц, которые в процессе хлопьеобразования не участвовали.

Кинетика осаждения коагулированной взвеси утяжеленной кварцевым песком с фракциями в диапазоне 0,05-0,63 мм приведены на графике рис. 3.2. Из этих данных видно, что комплексы с мелкими фракциями песка (до 0,05 мм) осаждаются на дно медленнее, чем с более крупными (0,14-0,63 мм). Причем во всех опытах, высота слоя выпавшего осадка за время $t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин была практически одинакова, независимо от крупности фракций добавляемого песка.

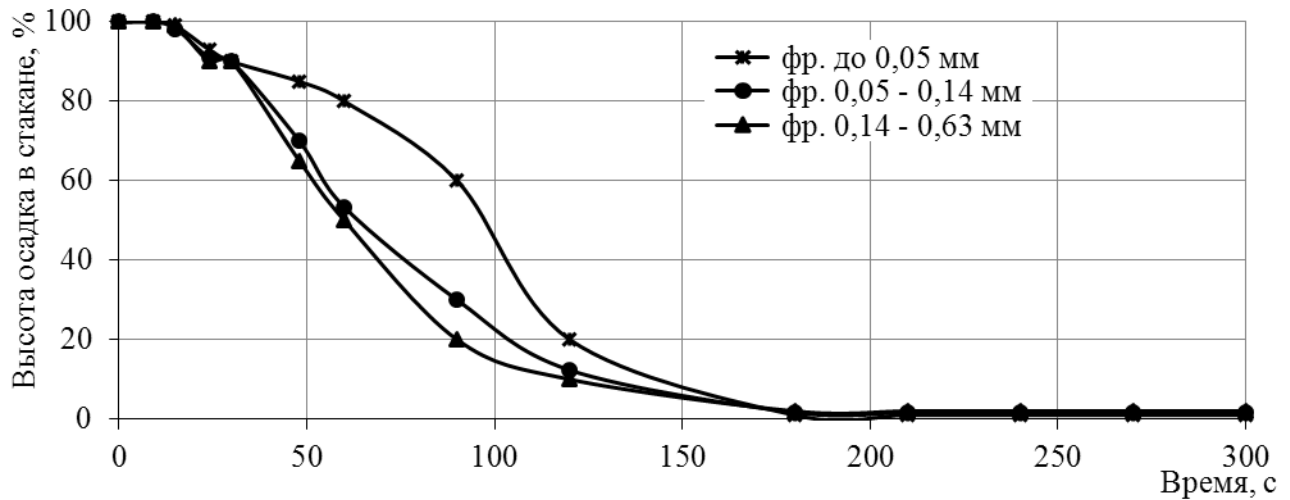


Рис. 3.2. Кинетика выпадения осадка коагулированной взвеси, с добавлением кварцевого песка разной крупности

Влияние размера фракций добавляемого песка на качество осветленной воды показано на рис. 3.3. Установлено, что наиболее эффективным для интенсификации процесса коагуляции воды с применением в качестве добавки-утяжелителя кварцевого песка было использование частиц с размерами от 0,05 до 0,14 мм, при этом осаждение хлопьев было достаточно полным.

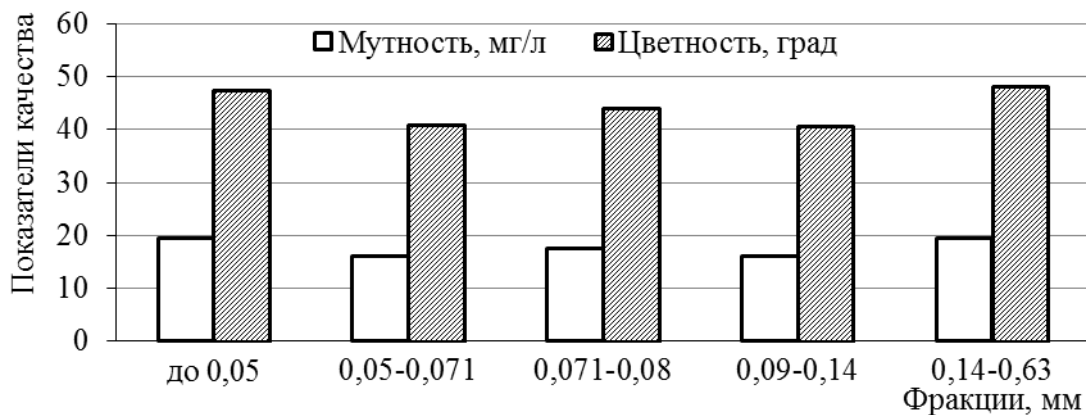


Рис. 3.3. Качество осветленной воды после отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин) при коагулировании воды с добавлением в обрабатываемую воду разных фракций кварцевого песка

Опыты по интенсификации процесса коагулирования воды с добавлением в качестве утяжелителя железного порошка проводились при размерах фракций порошка в диапазоне от 0,05 мм и менее до 0,63 мм. Результаты опытов приведены на рис. 3.4. Применение железного порошка фракцией не более 0,05 мм приводило к образованию интенсивно оседающих агломератов хлопьев с порошком. Использование железного порошка с размером частиц от 0,05 до 0,071 мм и более крупных фракций порошка (более 0,071 мм), его частицы быстро

оседали на дно и не полностью участвовали в процессе хлопьеобразования. Качество осветленной воды после отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин) по показателям мутности и цветности были лучшими в случае добавки железного порошка с фракцией не более 0,05 мм.

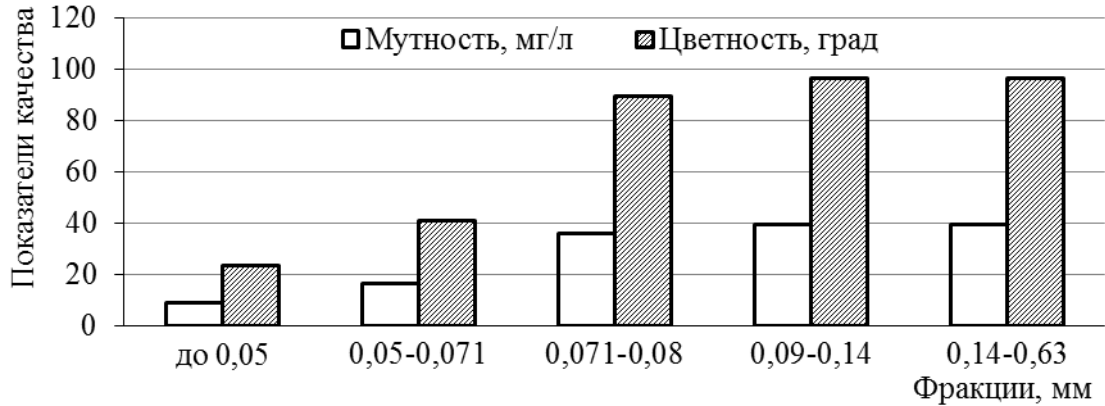


Рис. 3.4. Качество осветленной воды после отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин) при коагулировании воды с добавлением в обрабатываемую воду разных фракций железного порошка

Таким образом, наиболее эффективным являлся процесс осаждения хлопьев при коагуляционной обработке воды с применением в качестве добавки утяжелителя железного порошка с размерами частиц не более 0,05 мм (рис. 3.4).

Подобная картина осаждения хлопьев наблюдалась также при коагулировании воды с добавлением магнетита, лучшие результаты получены при использовании фракции до 0,05 мм. Магнетит с более крупной фракцией (0,05-0,56 мм) быстро оседал на дно цилиндра и не успевал участвовать в процессе хлопьеобразования. Качество осветленной воды после отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин) по показателям мутности и цветности были лучшими в случае добавки магнетита с фракцией не более 0,05 мм (рис. 3.5).

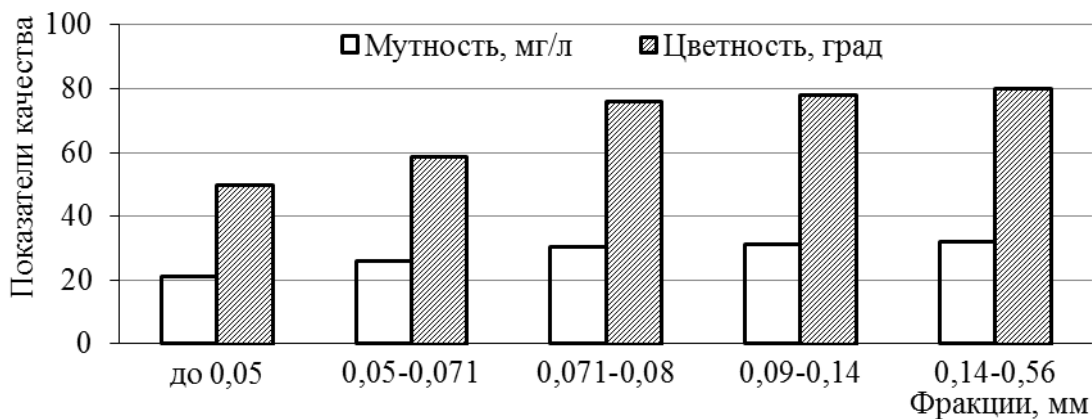


Рис. 3.5. Качество осветленной воды после отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин) при коагулировании воды с добавлением в обрабатываемую воду разных фракций магнетита

На рис. 3.6 представлены фотографии комплексов, образованных при коагуляционной обработке исходной воды с введением добавок-утяжелителей (кварцевого песка и железного порошка) эффективных фракций [118].

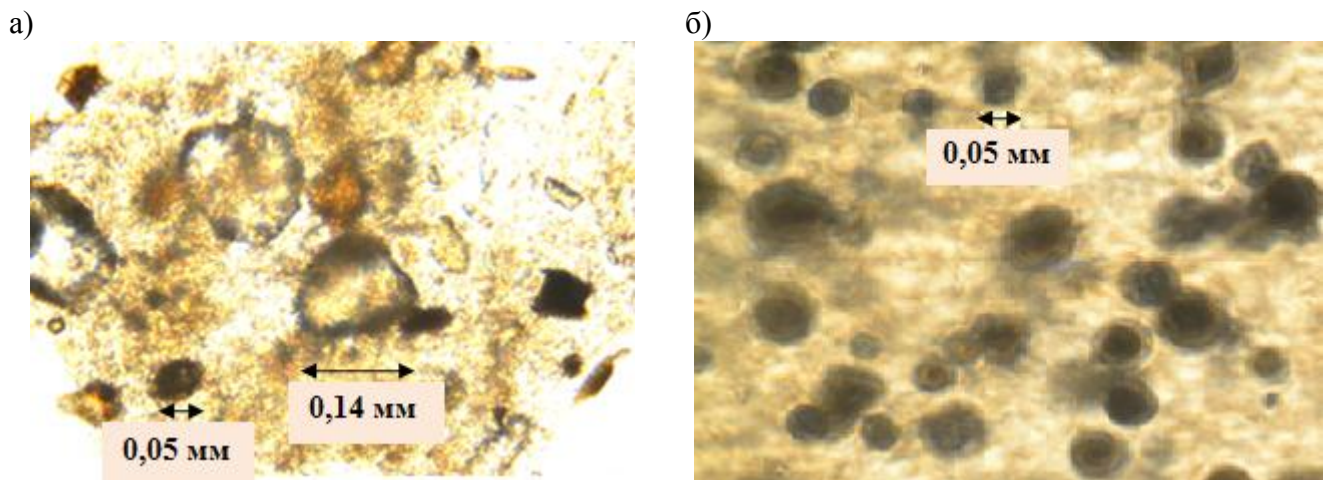


Рис. 3.6. Вид комплексов, образующихся в результате коагулирования воды с введением утяжелителей: а) кварцевого песка фр. 0,05-0,14 мм; б) железного порошка фр. до 0,05 мм.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективными фракциями добавок-утяжелителей при коагуляционной обработке маломутных цветных вод являются: для кварцевого песка – 0,05-0,14 мм; для железного порошка и магнетита – не более 0,05 мм (табл. 3.1). При этом обеспечивалось наилучшее качество очищенной после отстаивания воды.

В ходе исследований было установлено, что в составе магнетита имеются дополнительные примеси, которые мешают полному осаждению хлопьев коагулированной взвеси, поэтому дальнейшие опыты с этим видом утяжелителя не проводились.

3.1.3. Влияние дозы добавок-утяжелителей на качество осветленной воды

В данной серии опытов в качестве добавок при коагулировании воды были использованы кварцевый песок и железный порошок с эффективными размерами частиц (п. 3.1.2) и дозами от 0,3 до 2,0 г/л.

В исследованиях с добавками-утяжелителями придерживались следующих условий перемешивания:

- при введении в обрабатываемую воду кварцевого песка: быстрое перемешивание осуществлялось в течение 1 мин при скорости 300 об/мин, затем 2 минуты медленного перемешивания при 100 об/мин;

- при введении в воду железного порошка: быстрое перемешивание длилось 1 мин при 450 об/мин и 2 мин медленного перемешивания при 100 об/мин.

Результаты опытов приведены на рис. 3.7, где показано влияние дозы добавляемых в воду добавок-утяжелителей при ее коагуляции на качество очищенной после отстаивания воды.

При коагуляции воды с дозой добавок 0,7-1,0 г/л (рис. 3.7) цветность воды снижалась на 55 %, мутность на 53 %. С уменьшением дозы песка с 0,5 до 0,3 г/л происходило некоторое ухудшение качества очищенной воды, эффект очистки снижался по цветности на 9 % (с 55 до 46 %), по мутности на 4 % (с 52 до 48 %). Для железного порошка эффект очистки снижался по цветности с 56 до 18 %, по мутности с 54,0 до 20,9 % (рис. 3.7).

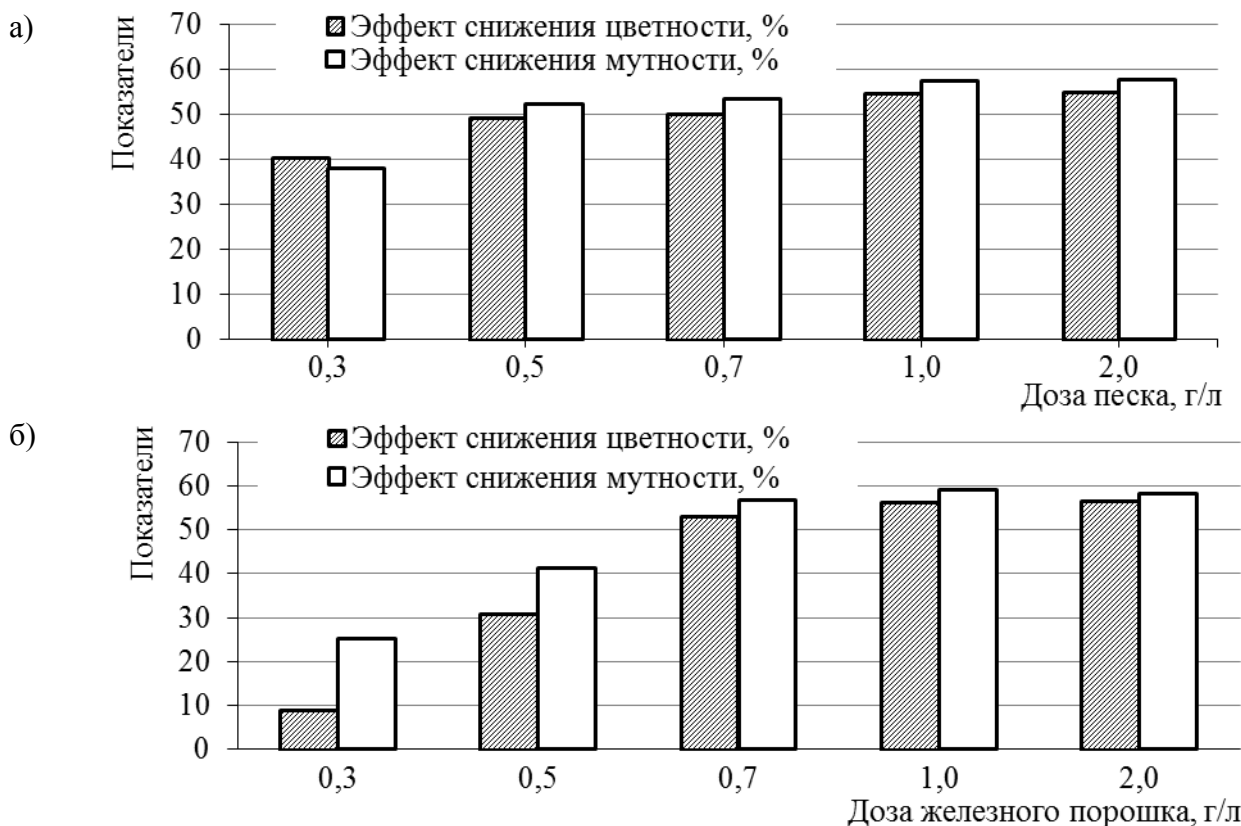


Рис. 3.7. Влияние дозы добавок-утяжелителей на эффективность очистки воды после отстаивания:

а – при использовании кварцевого песка фр. 0,05-0,14 мм ($t_{отст.} = 5,0$ мин);

б – при добавлении железного порошка фр. до 0,05 мм ($t_{отст.} = 1,5$ мин).

Дальнейшее уменьшение дозы вводимых добавок приводит к ухудшению качества очищенной воды (табл. 3.1.3). Повышение дозы вводимых добавок не приводило к повышению эффективности очистки.

Таблица 3.1.3

Влияние дозы добавок-утяжелителей на качество осветленной воды после отстаивания

Доза утяжелителей	Утяжелители:			
	кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм		железный порошок фр. до 0,05 мм	
	Цветность, град	Мутность, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л
	Продолжительность отстаивания			
	$t_{\text{отст.}} = 5$ мин		$t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин	
0,1	81,07	35,93	111,43	44,15
0,3	45,91	20,41	70,33	24,69
0,5	39,12	15,73	53,50	19,37
0,7	38,49	15,35	36,37	14,21
1,0	34,85	14,03	33,74	13,45
2,0	34,70	13,90	33,63	13,78
	$t_{\text{отст.}} = 10$ мин		$t_{\text{отст.}} = 3$ мин	
0,3	26,17	10,35	23,17	10,85
0,5	21,71	10,15	21,45	10,65
0,7	21,80	9,85	21,80	10,85

Примечание: В табл. 3.1.3 приведены средние значения показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 6,1\%$, по цветности – $\pm 3,2\%$.

При увеличении продолжительности отстаивания (свыше определенных ранее значений) коагулированной воды наблюдалось некоторое повышение эффективности осветления воды, однако, оно было незначительным. На рис. 3.8 показано изменение качества отстоянной воды после ее коагулирования с введением добавок-утяжелителей при разных их дозах (от 0,3 до 0,7 г/л), с увеличенным временем отстаивания.

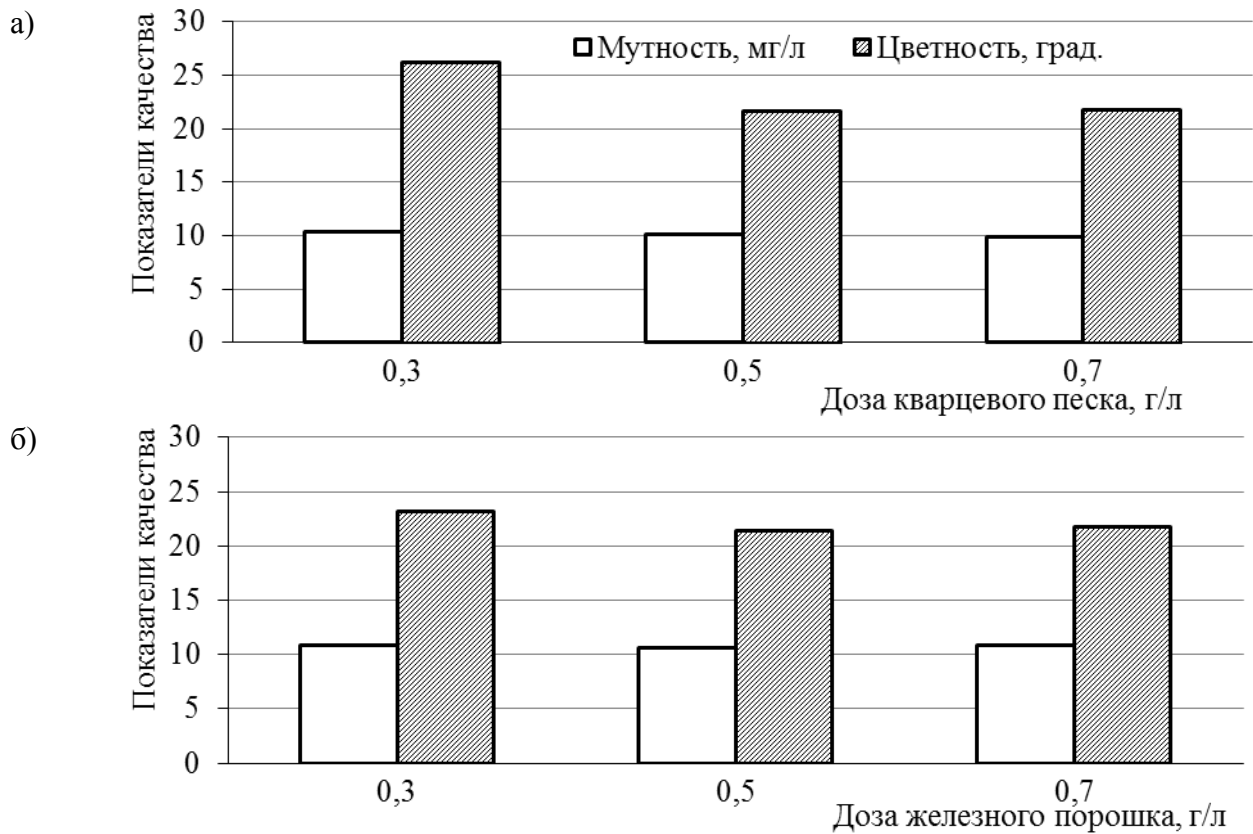


Рис. 3.8. Влияние дозы добавок-утяжелителей на качество очищенной воды после отстаивания:
 а – кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм ($t_{отст.} = 10$ мин);
 б – железный порошок фр. до 0,05 мм ($t_{отст.} = 3$ мин).

Сравнительный анализ полученных результатов коагуляционной очистки воды с использованием разных добавок-утяжелителей с дозой от 0,3 до 1,0 г/л, показал, что их введение повышает эффект очистки по сравнению с обычной коагуляцией воды без введения добавок-утяжелителей. По результатам опытов, при коагуляции воды без применения флокулянтов, эффективной дозой добавок-утяжелителей (кварцевого песка и железного порошка) принята доза 0,7 г/л,

3.1.4. Условия перемешивания при коагулировании воды с вводимыми добавками-утяжелителями

Целью данных исследований было изучение интенсивности и продолжительности перемешивания обрабатываемой воды с коагулянтом и вводимыми добавками на стадиях смешения и хлопьеобразования. При коагуляционной обработке воды с добавлением утяжелителей условия перемешивания меняются, поэтому необходимо их поддерживать такими, чтобы

вводимые добавки находились во взвешенном состоянии, а образующиеся хлопья и комплексы не разрушались.

Влияние условий перемешивания воды, в момент смешения ее с реагентами и утяжелителями, а также при хлопьеобразовании утяжеленных хлопьев, на качество очищенной воды после отстаивания приведены на рис. 3.10-3.12.

Для взмучивания осевших на дно добавок-утяжелителей, были определены скорости, которые необходимо знать для возобновления процесса коагуляционной очистки, в случае возможной его остановки (табл. 3.1.4).

Таблица 3.1.4

Скорости взмучивания, выпавших в осадок утяжелителей

Скорость перемешивания при взмучивании утяжелителей со дна стакана, об/мин	Утяжелители дозой – 3-5 г/л:		
	кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм	железный порошок фр. до 0,05 мм	магнетит фр. до 0,05 мм
	Доля взмучивающихся добавок-утяжелителей, %		
Через 24 часа после выпадения в осадок			
200	30	10	15
350	90	15	60
450	100	40	85
600	100	60	100
700	-	90	-
750	-	100	-
Через 7 дней после выпадения в осадок			
200	30	15	15
300	50	30	45
400	80	50	70
500	95	60	85
550	99	70	90
600	100	85	100
650	-	98	-
750	-	100	-

На рис. 3.9 показаны скорости взмучивания (витаия) добавок-утяжелителей (для кварцевого песка, железный порошок и магнетита) после первых суток (рис. 3.9, а) и через 7 суток (рис. 3.9, б) нахождения утяжелителей в осадке. Эффект взмучивания наблюдали визуально через 2 мин перемешивания. Доза утяжелителей составляла 3-5 г/л.

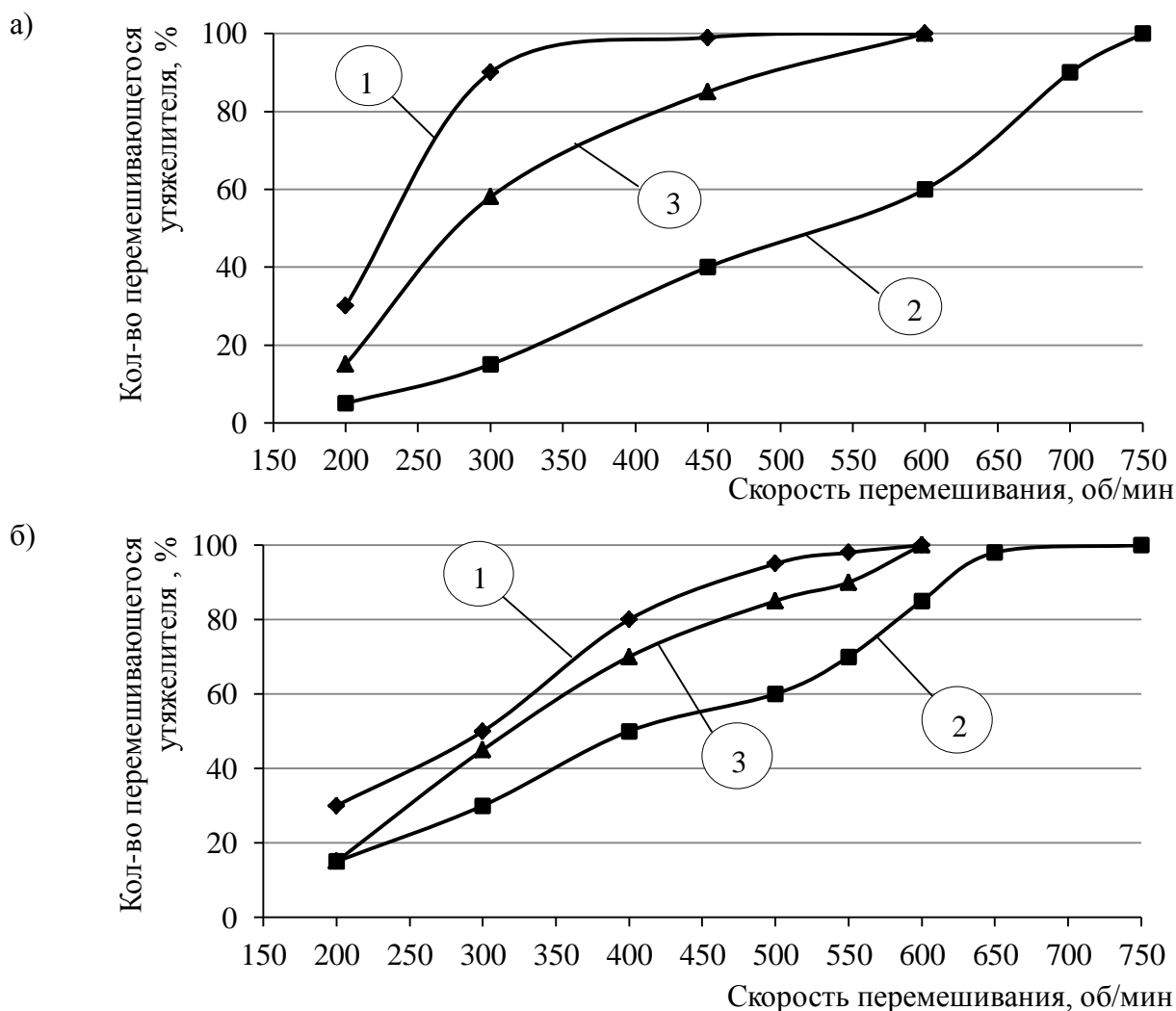


Рис. 3.9. Скорости взмучивания, выпавших в осадок утяжелителей: а) через 24 часа, б) через 7 суток после выпадения в осадок: 1 – кварцевый песок, 2 – железный порошок, 3 – магнетит

По результатам опытов приняты следующие эффективные скорости взмучивания утяжелителей: для кварцевого песка 350-500 об/мин, железного порошка 650-750 об/мин, магнетита 550-650 об/мин [118].

Дальнейшие исследования проводились для определения эффективных условий перемешивания при коагулировании воды [118]. Начальная скорость быстрого перемешивания (стадия смешения) была принята по результатам определения взмучивающих скоростей, при которых начиналось видимое взмучивание утяжелителя со дна. Утяжелители (кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм и железный порошок фр. до 0,05 мм) вводились в обрабатываемую коагулянтом воду с оптимальной их дозой 0,7 г/л.

Результаты проведенных исследований по влиянию интенсивности (скорости) быстрого смешения реагентов (коагулянта и подщелачивающего реагента) и добавок-утяжелителей с водой на качество осветленной воды показаны на рис. 3.10.

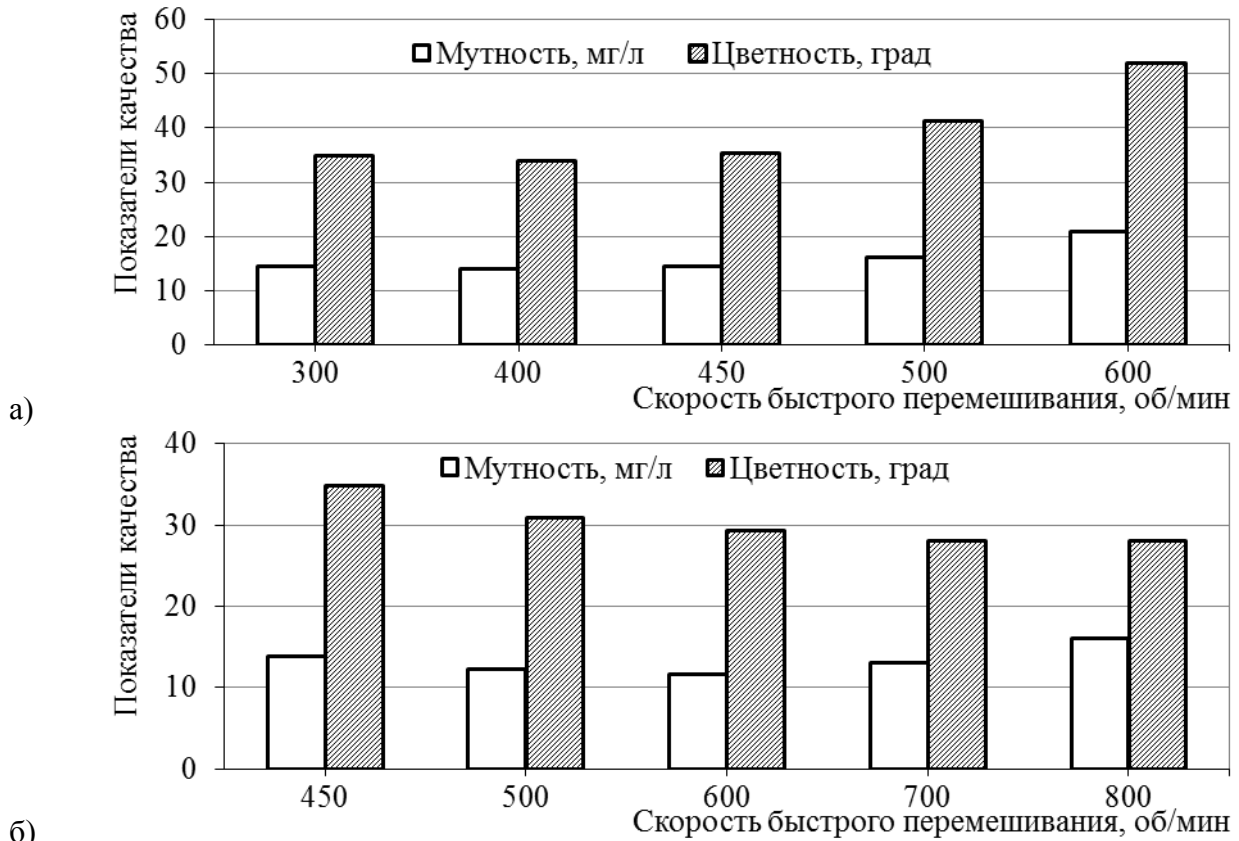


Рис. 3.10. Влияние быстрого перемешивания при коагуляции воды с использованием утяжелителей на качество очищенной после отстаивания воды:
а) кварцевого песка ($t_{отст.} = 5,0$ мин); б) железного порошка ($t_{отст.} = 1,5$ мин).

Время быстрого перемешивания принималось равное 1 мин, а медленного перемешивания (хлопьеобразования) – 2 мин при скорости 100 об/мин, затем воду отстаивали 5,0 мин (при применении песка), и 1,5 мин (при железном порошке).

При применении кварцевого песка в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта, скорость быстрого перемешивания изменялась от 300 до 600 об/мин (рис. 3.10, а), при применении железного порошка – от 450 до 800 об/мин (рис. 3.10, б).

Лучшие результаты по качеству очищенной воды при применении песка получены при скорости быстрого перемешивания (смешения) 300-400 об/мин (табл. 3.1.5).

**Влияние условий быстрого перемешивания на качество очищенной воды
после отстаивания**

Утяжелители (доза 0,7 г/л):					
кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм			железный порошок фр. до 0,05 мм		
Качество воды после отстаивания					
Скорость быстрого перемешивания, об/мин	Мутность, мг/л	Цветность, град	Скорость быстрого перемешивания, об/мин	Мутность, мг/л	Цветность, град
300	14,35	34,82	450	13,80	34,85
400	14,00	34,00	500	12,25	30,97
450	14,43	35,45	600	11,55	29,40
500	16,00	41,40	700	13,04	28,07
600	20,92	52,00	800	15,97	28,00

Примечание: В табл. 3.1.5 приведены средн. значения показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 6,4\%$, по цветности – $\pm 3,7\%$.

При перемешивании воды с добавлением железного порошка (рис. 3.10, б) при 450 об/мин, часть порошка оседала на дно цилиндра. С увеличением скорости перемешивания наблюдалось улучшение качества очищенной воды, которое было лучшим при скорости 600-700 об/мин (табл. 3.1.5).

Таким образом, как видно из рис. 3.10 и табл. 3.1.5, лучшее качество осветленной воды после отстаивания достигалось [118]: при использовании в качестве утяжелителя кварцевого песка – быстрое перемешивание со скоростью 300-400 об/мин, при использовании железного порошка – 600-700 об/мин.

Влияние скорости медленного перемешивания воды (хлопьеобразование) на процесс осветления воды после быстрого перемешивания в течение 1 мин (кварцевый песок – 300-400 об/мин, железный порошок – 600-700 об/мин) показано на рис. 3.11. Продолжительность хлопьеобразования (медленного перемешивания) составляла 2 мин.

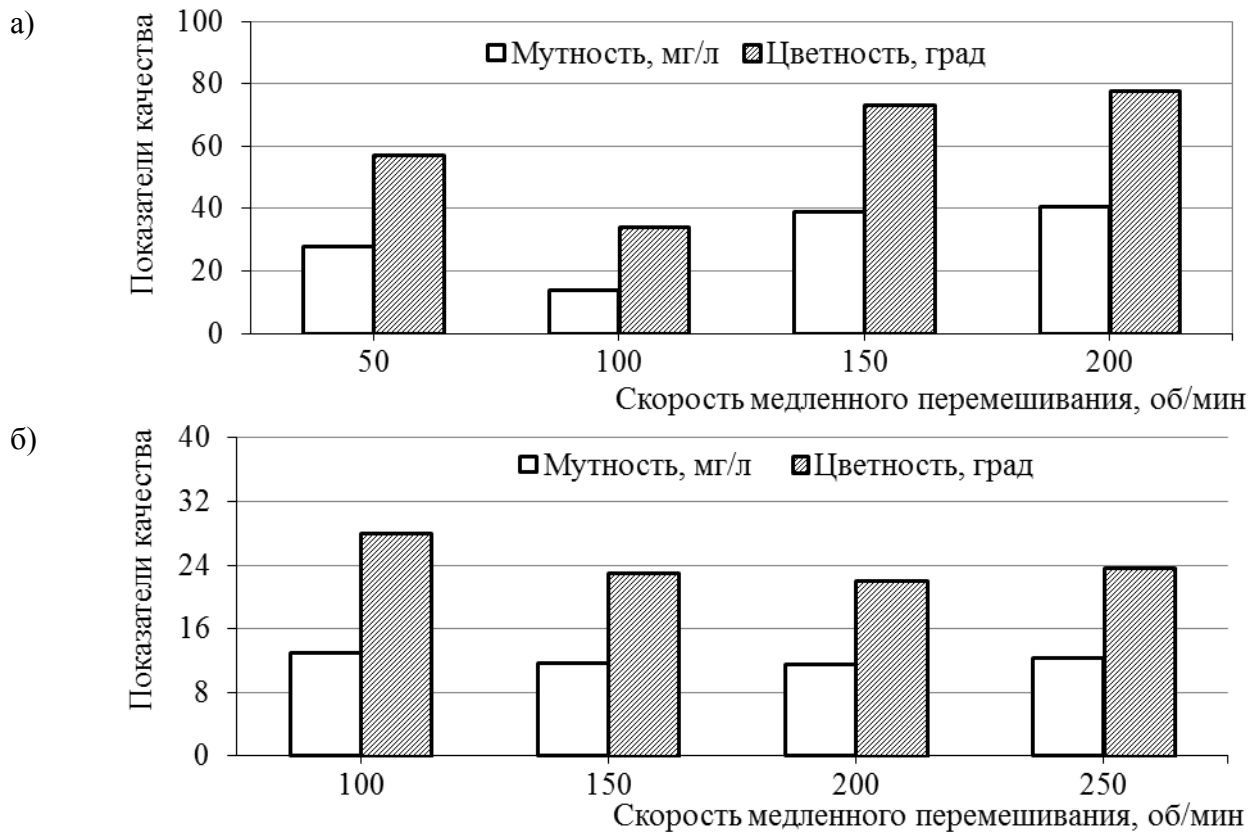


Рис. 3.11. Влияние медленного перемешивания после быстрого перемешивания при коагуляции воды с использованием утяжелителей на качество очищенной воды после отстаивания: а) использование кварцевого песка ($t_{отст.} = 5,0$ мин); б) железного порошка ($t_{отст.} = 1,5$ мин)

Было замечено, что при переходе от быстрого режима перемешивания к медленному режиму происходит осаждение значительной части утяжелителя на дно цилиндра. Поэтому было важно определить порядок перехода от одного режима к другому, чтобы утяжелитель осаждался на дно с образующимися хлопьями коагулянта, и чтобы хлопья не разрушались при этой скорости (табл. 3.1.6).

При коагулировании воды с использованием кварцевого песка (рис. 3.11, а) при скорости медленного перемешивания (хлопьеобразования) – 50 об/мин, часть песка осела на дно стакана и не участвовала в процессе хлопьеобразования. При скорости перемешивания 100 об/мин частицы песка не оседали на дно и участвовали в процессе хлопьеобразования. Увеличение скорости перемешивания более 100 об/мин приводило к разрушению образующихся с песком хлопьев гидроксида алюминия, тем самым значительно ухудшало качество очищенной воды после отстаивания.

**Влияние условий медленного перемешивания после быстрого перемешивания
на качество очищенной воды**

Утяжелители (доза 0,7 г/л):					
кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм			железный порошок фр. до 0,05 мм		
Качество воды после отстаивания					
Скорость медленного перемешивания, об/мин	Мутность, мг/л	Цветность, град	Скорость медленного перемешивания, об/мин	Мутность, мг/л	Цветность, град
50	28,00	57,00	100	13,04	28,07
100	14,00	34,00	150	11,60	23,00
150	39,00	73,00	200	11,50	22,10
200	40,57	77,50	250	12,30	23,70

Примечание: В табл. 3.1.6 приведены средн. значения показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 7,0\%$, по цветности – $\pm 4,0\%$.

Процесс хлопьеобразования, проводимый с использованием железного порошка (рис. 3.11, б), был наиболее эффективным при скорости медленного перемешивания 150-200 об/мин. При данных условиях наблюдалось лучшее качество очищенной воды, а также частицы порошка не оседали на дно. Увеличение скорости медленного перемешивания до 250 об/мин приводило к ухудшению качества осветленной воды [118].

Таким образом, как видно из рис. 3.11 и табл. 3.1.6, лучшее осветление воды после отстаивания достигалось: с добавлением в качестве утяжелителя песка – при скорости медленного перемешивания 100 об/мин, при использовании – железного порошка – с интенсивностью 150 об/мин.

Изучение влияния продолжительности медленного перемешивания на качество осветленной воды после отстаивания (при эффективных условиях быстрого перемешивания) показано в табл. 3.1.7.

Таблица 3.1.7

Влияние продолжительности медленного перемешивания (хлопьеобразования) при коагуляции воды с применением добавок на качество очищенной воды после отстаивания

Утяжелители (доза 0,7 г/л):					
кварцевый песок фр. 0,05-0,14 мм			железный порошок фр. до 0,05 мм		
Качество воды после отстаивания					
быстрое / медленное перемешивание: мин / мин	Мутность, мг/л	Цветность, град	быстрое / медленное перемешивание: мин / мин	Мутность, мг/л	Цветность, град
1 / 2	14,00	34,00	1 / 2	11,50	22,10
1 / 3	12,10	29,80	1 / 3	10,10	21,00
1 / 5	11,80	28,00	1 / 5	9,30	20,30
1 / 7	11,00	28,30	1 / 7	9,40	20,50

Примечание: В табл. 3.1.7 приведены средн. значения показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 5,9\%$, по цветности – $\pm 3,8\%$.

Установлено, что при коагулировании маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей процесс хлопьеобразования интенсивно протекал при времени перемешивания – 2-5 мин, как при использовании кварцевого песка, так и при использовании железного порошка (табл. 3.1.7 и рис. 3.12).

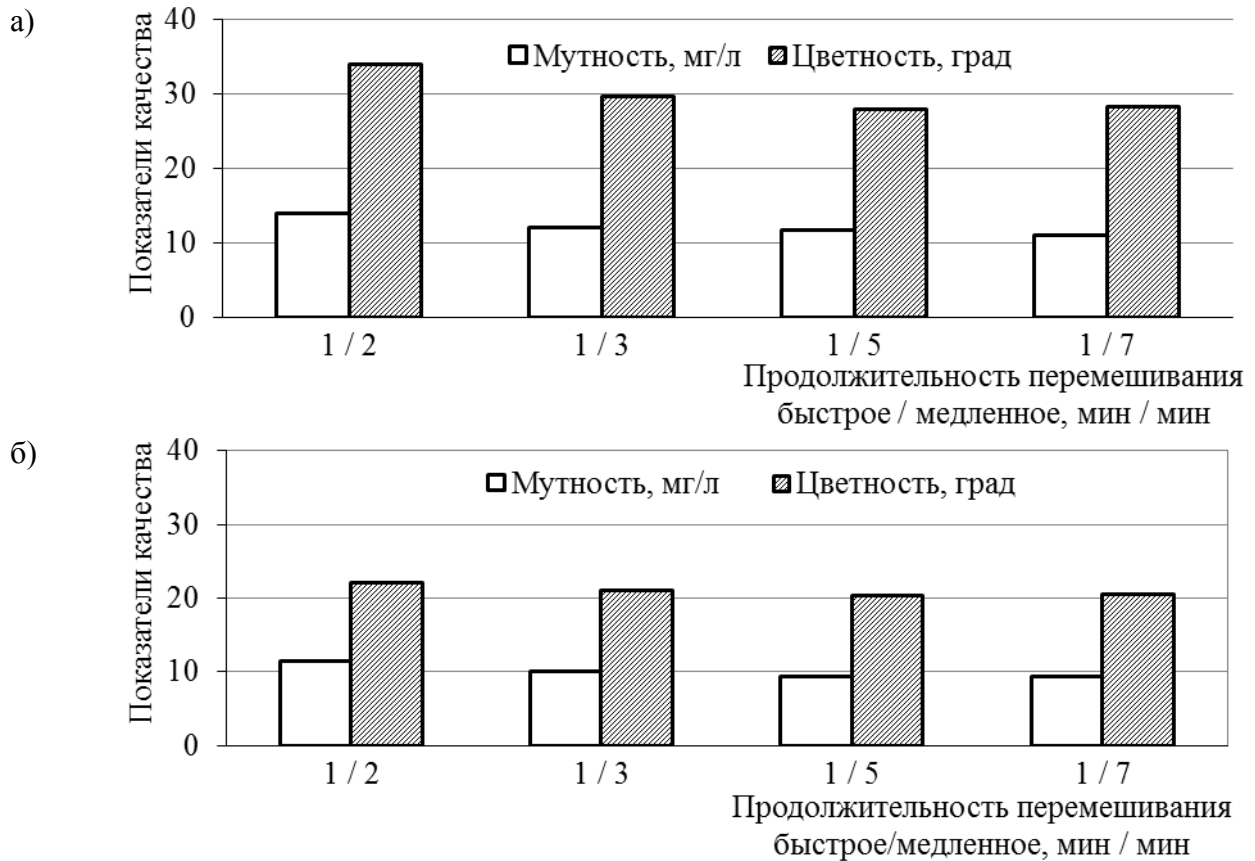


Рис. 3.12. Влияние продолжительности медленного перемешивания на качество отстоянной воды: а) кварцевый песок ($t_{отст.} = 5,0$ мин); б) железный порошок ($t_{отст.} = 1,5$ мин)

В результате опытов по определению эффективных условий перемешивания воды с реагентами и добавляемыми утяжелителями установлено, что лучшее качество осветленной воды достигалось:

- с использованием в качестве утяжелителя кварцевого песка при скоростях быстрого перемешивания от 300 до 400 об/мин ($t_{перем.} = 1,0$ мин) и медленного перемешивания при 100 об/мин ($t_{перем.} = 2-3$ мин);

- с использованием железного порошка при скорости быстрого перемешивания 600-700 об/мин ($t_{перем.} = 1,0$ мин) и медленного перемешивания – 150-200 об/мин ($t_{перем.} = 2-3$ мин).

3.1.5. Место ввода добавок-утяжелителей в обрабатываемую при коагулировании воду

В исследованиях по определению наиболее эффективного места ввода добавок-утяжелителей при коагуляции воды [115], используемые добавки (кварцевый песок и железный порошок) вводились в воду на стадии смешения воды с коагулянтом и на стадии хлопьеобразования, результаты данных опытов приведены в табл. 3.1.8.

Таблица 3.1.8

Влияние места ввода добавок-утяжелителей при коагулировании на качество осветленной воды

Параметры	Исх. вода	Традиц. коагул.	Варианты ввода утяжелителей в обрабатываемую воду					
			№ 1 а	№ 1 б	№ 1 в	№ 1 г	№ 2 а	№ 2 б
Ввод утяжелителей	-		при быстром перемешивании				при медленном перемешивании	
Продолж. перемеш.			1 мин				2 мин	
Утяжелитель	-	-	кварцевый песок ф. 0,05-0,14 мм					
Цветность, град	55,0	10,5	10,3	11,4	28,0	36,7	38,0	46,5
Мутность, мг/л	23,1	4,2	4,2	4,4	11,1	14,7	15,5	18,7
	Исх. вода	Традиц. коагул.	№ 1 а	№ 1 б	№ 1 в		№ 2 а	
Утяжелитель	-	-	железный порошок ф. до 0,05 мм					
Цветность, град	55,0	10,5	16,1	15,4	33,3		36,9	
Мутность, мг/л	23,1	4,2	6,3	6,2	14,8		15,2	

Примечание: В табл. 3.1.8 приведены средн. зн. показателей качества воды из 3-х опытов. Погрешность составляла, по показателю мутности $\pm 6,0\%$, по цветности – $\pm 3,5\%$.

При исследовании влияния места ввода кварцевого песка в обрабатываемую воду на качество осветленной воды, были рассмотрены следующие варианты:

1) во время быстрого перемешивания (смешения): а) введение утяжелителя внизу цилиндра в начале перемешивания; б) добавление утяжелителя сверху цилиндра в начале перемешивания; в) ввод утяжелителя через 1 мин быстрого перемешивания, после чего еще 1 мин быстрого перемешивания; г) в конце быстрого перемешивания (40 сек. перемешивания, затем ввод утяжелителя, потом еще 20 сек. перемешивания).

2) во время медленного перемешивания (хлопьеобразования): а) ввод утяжелителя в начале медленного перемешивания (аналог технологии «Actiflo»); б) ввод утяжелителя через 1 мин после начала медленного перемешивания.

Условия опытов при использовании в качестве утяжелителя кварцевого песка: быстрое перемешивание 1 мин (со скоростью 300 об/мин), медленное перемешивание (хлопьеобразование) в течение 2 мин при 100 об/мин, затем следовало отстаивание воды $t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин. В опытах с традиционной коагуляцией (без добавок-утяжелителей) продолжительность отстаивания составляла 30,0 мин. Полученные результаты приведены на рис. 3.13.

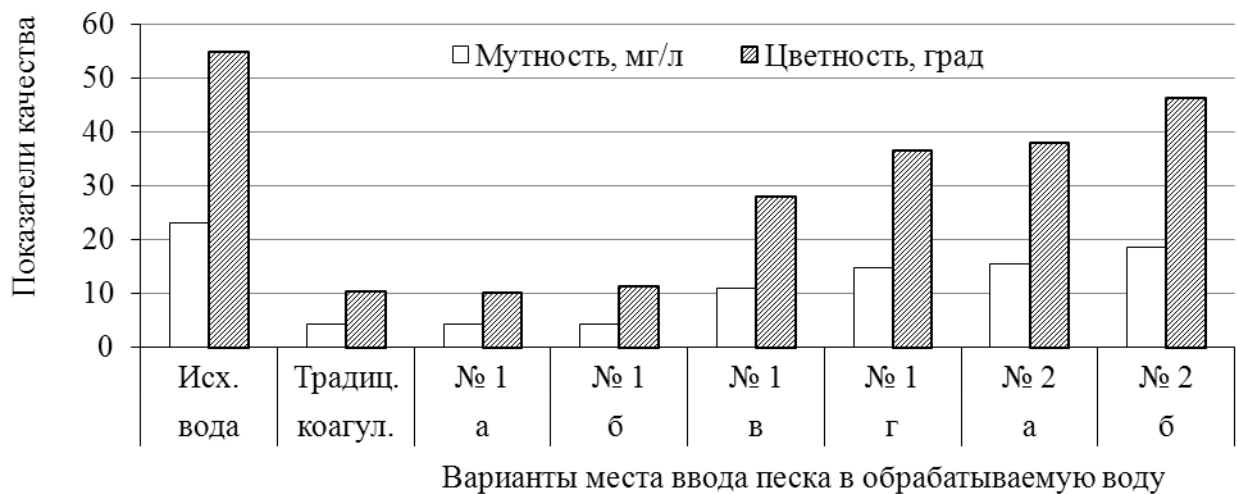


Рис. 3.13. Влияние места ввода кварцевого песка (доза 0,7 г/л) в обрабатываемую при коагулировании воду на качество осветленной воды после отстаивания

Как видно из рис. 3.13, наиболее эффективное осветление воды наблюдалось с введением песка во время быстрого перемешивания при коагуляции воды. Качество осветленной воды после 5-ти минутного отстаивания коагулированной воды, с применением кварцевого песка, примерно одинаково с качеством осветлённой воды после традиционного коагулирования без применения добавок после 30 мин отстаивания (рис. 3.13), при этом применение кварцевого песка позволяет сократить время отстаивания в 6 раз.

Объясняется это тем, что когда утяжелитель вводился в воду в начале быстрого перемешивания, то хлопья коагулянта начинали образовываться на частицах утяжелителя (кварцевого песка) (рис. 3.13). Когда утяжелитель вводился в обрабатываемую воду, через какое-то время после начала хлопьеобразования,

утяжелитель участвовал в процессе хлопьеобразования лишь частично. Введение кварцевого песка во время медленного перемешивания сопровождалось ухудшением качества осветленной воды (рис. 3.13) после отстаивания, что было связано с разрушением уже образовавшихся хлопьев.

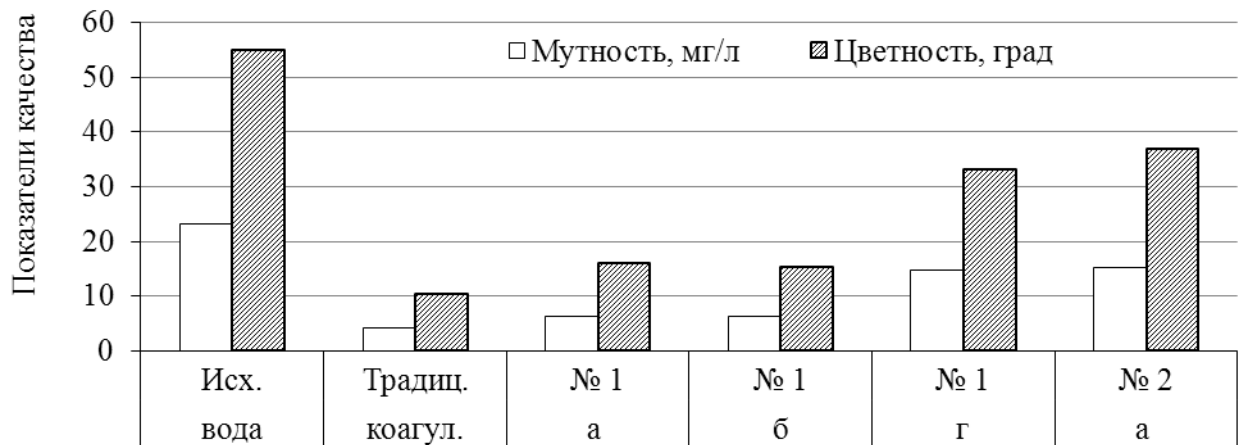
При исследовании влияния места ввода в качестве утяжелителя железного порошка в обрабатываемую воду на качество осветленной воды, были рассмотрены следующие варианты (рис. 3.14):

1) во время быстрого перемешивания: а) введение железного порошка сверху в цилиндр в начале перемешивания; б) введение железного порошка снизу в цилиндр в начале перемешивания; г) в конце быстрого перемешивания (40 сек. перемешивание, затем ввод утяжелителя, и еще 20 сек. перемешивания).

2) ввод порошка в начале медленного перемешивания (хлопьеобразования).

Быстрое перемешивание при добавлении железного порошка осуществляли со скоростью 600 об/мин в течение 1 мин, медленное перемешивание (хлопьеобразование) – со скоростью 150 об/мин в течение 2 мин, после чего воду отстаивали ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин).

Наиболее эффективное осветление воды наблюдалось при введении железного порошка в обрабатываемую воду так же во время быстрого перемешивания (рис. 3.14), как и при добавлении песка. При введении данного утяжелителя во время медленного перемешивания наблюдалось ухудшение качества осветленной воды после отстаивания.



Варианты места ввода железного порошка

Рис. 3.14. Влияние места ввода железного порошка (доза 0,7 г/л) в обрабатываемую при коагулировании воду на качество осветленной воды после её отстаивания

Введение добавок-утяжелителей сверху или снизу в цилиндр во время быстрого перемешивания не оказывало значительного влияния на процесс коагулирования воды.

Таким образом, качество очищенной воды при коагулировании воды с добавлением кварцевого песка и железного порошка было лучшим при введении утяжелителей в обрабатываемую воду во время быстрого перемешивания, при котором они вводились в воду в начале перемешивания вместе с коагулянтом, в результате наблюдалось образование плотных комплексов хлопьев коагулянта с утяжелителями.

3.2. Результаты исследований процесса коагуляции с введением добавок-утяжелителей на воде р. Невы

Цель исследований: изучение метода интенсификации процесса коагуляции при очистке природной воды р. Невы (в том числе, при низкой температуре воды), путем введения различных добавок-утяжелителей. Исследования проводились в соответствии с принятой на Южной водопроводной станции (ЮВС) г. Санкт-Петербурга технологией реагентной обработки воды (коагулянт – алюминий сернокислый технический $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, флокулянт – *Flopat FO-4290PWG*) [117].

Эффективность интенсификации процесса коагуляции невиской воды в лабораторных условиях оценивалась по результатам анализа основных показателей качества воды после отстаивания и фильтрования, выполненных в Химико-бактериологической лаборатории ЮВС (ХБЛ ЮВС).

Качество исходной воды: мутность – 1,0-7,6 мг/л; цветность – 27,0-38,0 град; перманганатная окисляемость – 5,6-9,5 мг O_2 /л; щелочность – 0,55-0,68 ммоль/л; водородный показатель рН – 7,2-7,7 ед.; содержание железа – 0,02-0,19 мг/л. Исследования проводились при температуре исходной воды – 0,5-4,0 и 25-27 °С.

Пробы воды для опытов отбирались на входе на первую технологическую ступень очистки воды блока К-6 (на гидравлическом прыжке), куда подавалась невиская вода с водозабора ЮВС и промывная вода от промывки фильтров после блока ее очистки. Оптимальные дозы реагентов определены пробным коагулированием воды, и составляли на период проведения лабораторных исследований: доза коагулянта по Al_2O_3 – 7,50 мг/л, флокулянта – 0,19 мг/л.

При коагулировании невиской воды в качестве утяжелителей использовались кварцевый песок, железный порошок, смесь песка и порошка, а также микрокальцит. Добавки вводились в обрабатываемую воду в начале быстрого перемешивания вместе с коагулянтом. Песок вводился в обрабатываемую воду с

размером частиц фр. 0,05-0,14 мм, железный порошок – фр. до 0,05 мм, микрокальцит – фр. 0,1 мм.

Качество очищенной воды анализировалось по основным показателям мутности, цветности, перманганатной окисляемости, а также по изменению *pH* (водородному показателю), щелочности, содержанию ионов алюминия. Погрешность данных в проведенных опытах составляла по показателю мутности $\pm 5,7\%$, по цветности $\pm 3,3\%$, по окисляемости $\pm 9,5\%$.

3.2.1. Условия процесса коагулирования невской воды при введении различных видов утяжелителей хлопьев коагулянта

Опыты проводились с использованием в качестве утяжелителей кварцевого песка и железного порошка. Доза данных добавок в начале была принята по результатам опытов при коагуляции воды без применения флокулянта (п. 3.1.3) и составила 0,7 г/л. В опытах по определению оптимальных параметров процесса коагуляции воды р. Невы изучались оптимальные условия перемешивания воды с реагентами и вводимыми добавками-утяжелителями. С этой целью изменяли условия перемешивания (скорость и время быстрого перемешивания – смешение реагентов и утяжелителей с водой, скорость и время медленного перемешивания – хлопьеобразование).

Оптимальные условия перемешивания, принятые на ЮВС [117], при обычной коагуляции без утяжелителей, моделирующие технологические параметры производственного процесса составляли: быстрое перемешивание – 3 мин со скоростью 60 об/мин; медленное перемешивание (флокуляция) – 17 мин при скорости 15 об/мин. Время отстаивания составляло 40 мин.

В 1-ой серии опытов (табл. 3.2.1) при коагуляции воды с добавкой кварцевого песка были соблюдены те же условия перемешивания, что и при коагуляции без добавок-утяжелителей. Полученные результаты показали, что при коагулировании воды с введением добавок-утяжелителей должны существенно меняться условия перемешивания воды с реагентами (как скорости, так и

продолжительность перемешивания).

Таблица 3.2.1

Влияние условий перемешивания воды, моделирующие технологические параметры производственного процесса при коагулировании невской воды

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество невской воды	Обрабатываемая вода	Коагулирование воды:	
				Без добавок	С добавкой песка
					Серия опытов № 1
				Осветленная вода	
Качество воды после отстаивания					
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,7
Температура воды	°С	1,1	1,6	3,0	4,0
Мутность	мг/л	3,5	6,5	3,2	3,0
Цветность	град	39,0	31,0	4,0	4,0
рН	ед.	7,50	7,40	6,24	6,20
Щелочность	ммоль/л	0,58	0,57	0,20	0,20
Окисляемость	мгО ₂ /л	8,50	9,50	2,60	-
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	
Продолжительность перемешивания	мин	-	-	20,0	

В условиях 1-ой серии опытов (табл. 3.2.1) вводимый песок оседал на дно уже при быстром перемешивании (60 об/мин) и не участвовал в процессе флокуляции, что свидетельствовало о недостаточной скорости перемешивания (коагуляция воды протекала, также как без применения утяжелителей).

Во 2-ой и 3-ей сериях опытов (табл. 3.2.2) условия перемешивания воды [117] были изменены (быстрое перемешивание: продолжительность – 3 мин, скорость – 300 об/мин, медленное перемешивание: продолжительность – 17 мин при 100 об/мин (№ 2); продолжительность – 8 мин со скоростью 100 об/мин, затем 9 мин со скоростью 50 об/мин (№ 3)). При данных условиях во время перемешивания песок не оседал на дно, и образовывались крупные хлопья.

После введения флокулянта при медленном перемешивании со скоростью 100 об/мин, через 40-60 сек. начиналось образование крупных хлопьев [54]. Наблюдение за процессом перемешивания воды показало, что большая часть хлопьев оседала на дно уже на 3-ей минуте медленного перемешивания, что указывало на возможность сокращения продолжительности перемешивания. Так

же наблюдалось частичное разрушение хлопьев при длительном медленном перемешивании воды со скоростью 100 об/мин и поэтому в последствии скорость была снижена до 50 об/мин.

Таблица 3.2.2

Исследования по определению оптимальных условий перемешивания при коагулировании невской воды

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество невской воды	Обрабатываемая вода	Коагулирование воды:		
				Без добавок	С добавкой кварцевого песка	
					Серия опытов	
					№ 2	№ 3
				Осветленная вода		
Качество воды после отстаивания						
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,70	
Температура воды	°С	1,10	1,60	3,00	4,00	4,00
Мутность	мг/л	3,50	6,50	3,20	3,10	2,00
Цветность	град	39,00	31,00	4,00	4,00	2,00
рН	ед.	7,50	7,40	6,24	6,20	6,20
Щелочность	ммоль/л	0,58	0,57	0,20	0,20	0,20
Окисляемость	мгО ₂ /л	8,50	9,50	2,60	-	-
Время отстаивания	мин	-	-	40,0		
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 17 мин – 100 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 8 мин – 100 об/мин, 9 мин – 50 об/мин
Время перемешивания	мин	-	-	20,0		

Серия опытов № 4-6 [117] сводилась к сокращению времени медленного перемешивания и к поиску оптимальной скорости перемешивания (табл. 3.2.3) при коагулировании воды с добавкой кварцевого песка. Параметры перемешивания изменялись следующим образом:

- быстрое перемешивание (смешение реагентов и добавки с водой) – в течение 3 мин при скоростях 150, 200 и 300 об/мин;
- медленное перемешивание (флокуляция) – 2 мин при скорости 100 об/мин, затем 1 мин при 50 об/мин.

Таблица 3.2.3

**Результаты исследований по сокращению времени медленного перемешивания
при коагулировании невской воды**

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество невской воды	Обраба- тываемая вода	Коагулирование воды:			
				Без добавок	С добавкой кварцевого песка		
					Серии опытов:		
					№ 4	№ 5	№ 6
				Осветленная вода			
Качество воды после отстаивания							
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,7		
Температура воды	°С	0,4	0,6	3,0	0,40		
Мутность	мг/л	4,1	7,2	3,2	$\frac{3,3}{2,9}$	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{2,9}{2,7}$
Цветность	град	41,0	34,0	4,0	$\frac{8,0}{5,2}$	$\frac{5,1}{4,8}$	$\frac{4,9}{4,2}$
рН	ед.	7,51	7,70	6,24	6,40	6,30	6,40
Щелочность	ммоль/л	0,58	0,58	0,20	0,20	0,20	0,20
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	8,80	8,80	2,60	2,60	2,50	2,30
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	$\frac{5,0}{40,0}$		
Условия перемешивания:		-	-	3 мин – 60 об/мин 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 150 об/мин 3 мин – 100 об/мин	3 мин – 200 об/мин 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	3 мин – 300 об/мин 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин
Время перемешивания	мин	-	-	-	6,0		

Примечание: В табл. 3.2.3 приведены значения показателей качества воды: в числителе через 5 мин отстаивания, в знаменателе – через 40 мин отстаивания.

Быстрое перемешивание со скоростями 150 и 200 об/мин были недостаточными для процесса смешения воды с песком. Песок не полностью перемешивался с водой и оседал на дно. При скорости 300 об/мин данный утяжелитель не оседал и полностью перемешивался, участвуя в процессе хлопьеобразования.

Лучшие результаты были получены в 6-ой серии опытов: быстрое перемешивание (смешение) – 3 мин при 300 об/мин, медленное перемешивание (флокуляция) – 2 мин при 100 об/мин, затем 1 мин при 50 об/мин.

Качество осветленной воды после ее коагуляции с утяжелителями определяли как при оптимальном времени отстаивания (п. 3.1.1) (с добавлением кварцевого песка – 5,0 мин, железного порошка – 1,5 мин), так и при отстаивании 40 мин (рис. 3.15).

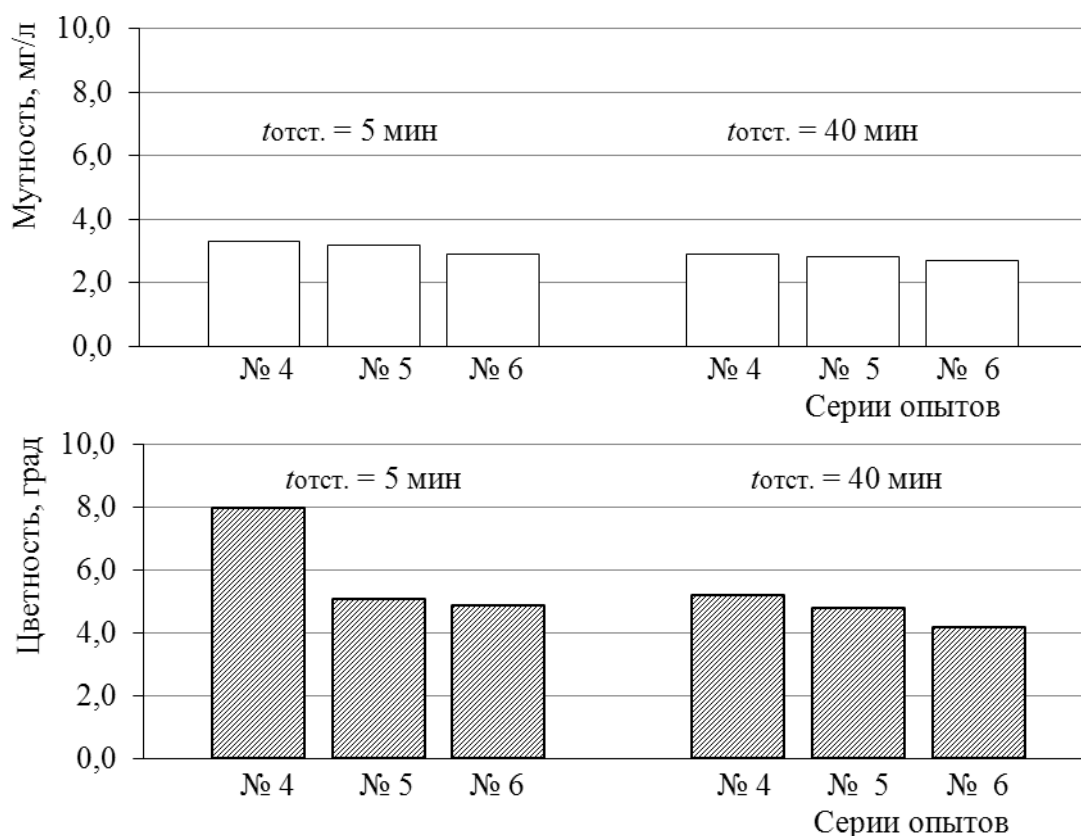


Рис. 3.15. Качество воды (мутность и цветность) после отстаивания коагулированной взвеси с добавлением кварцевого песка при разных условиях перемешивания:

№ 4 – 3 мин – 150 об/мин, 3 мин – 100 об/мин; № 5 – 3 мин – 200 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин; № 6 – 3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин.

Качество воды после коагуляции с добавлением песка при оптимальных условиях перемешивания после 5 мин отстаивания было следующим: мутность –

2,9 мг/л, цветность – 4,9 мг/л. При увеличении времени отстаивания до 40 мин качество воды менялось незначительно (мутность – 2,7 мг/л, цветность – 4,2 мг/л). То есть, применение при коагуляционной обработке невиской воды в качестве добавки кварцевого песка позволило сократить время отстаивания в 8 раз [117].

В табл. 3.2.4 приведены результаты опытов, проведенные при оптимальных условиях коагулирования воды (дозах реагентов и добавок-утяжелителей и условиях перемешивания) без добавок и с добавлением кварцевого песка и железного порошка.

Сравнительные графики, характеризующие качество воды после отстаивания при коагуляции без добавок и с добавлением песка и железного порошка приведены на рис. 3.16.

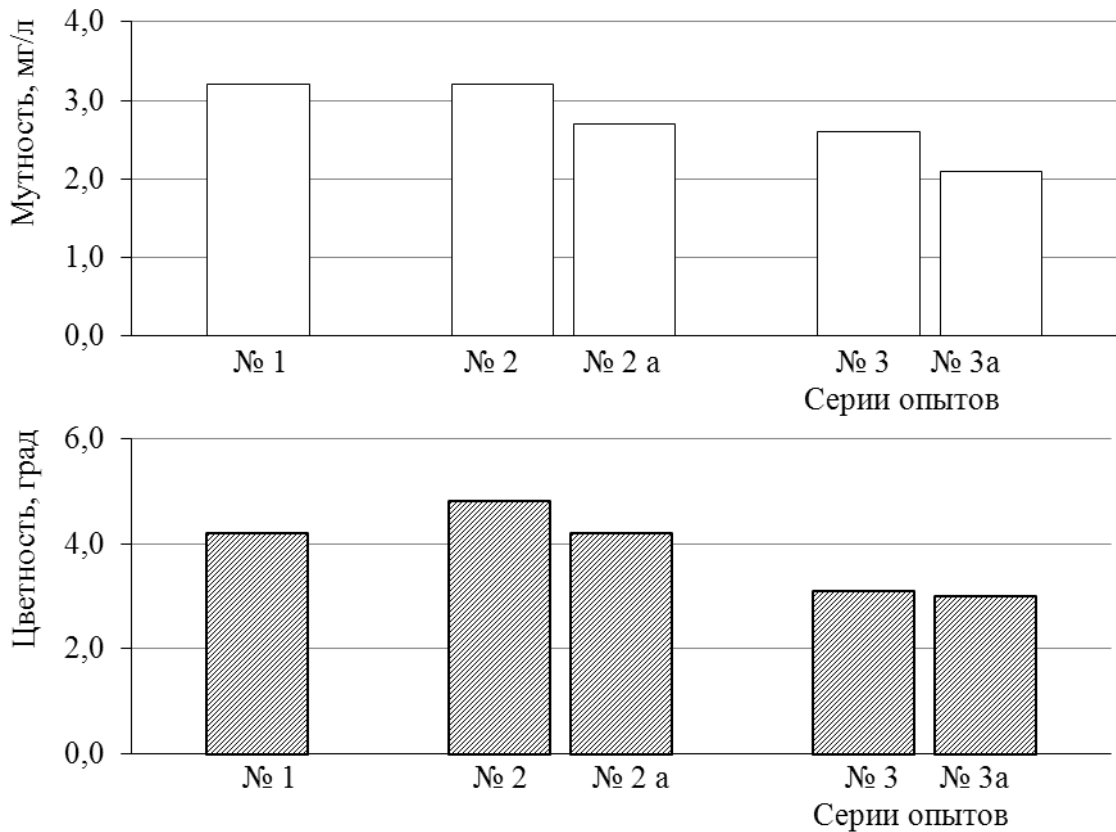


Рис. 3.16. Качество воды (мутность и цветность) после отстаивания с добавлением кварцевого песка и железного порошка при следующих условиях: № 1 – Коагуляция воды без добавления утяжелителей, $t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин; № 2 и № 2а – Коагуляция воды с добавкой кварцевого песка, после $t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин и $t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин, соответственно; № 3 и № 3а – Коагуляция воды с добавкой железного порошка, после $t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин и $t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин, соответственно

**Результаты коагулирования невской воды с добавками-утяжелителями
при оптимальных условиях перемешивания**

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество невской воды	Обрабатываемая вода	Коагулирование воды при следующих условиях:					
				Без добавления утяжелителя		С добавкой кварцевого песка		С добавкой железного порошка	
				Серии опытов:					
				№ 1		№ 2		№ 3	
				Осветленная вода после:					
				отст.	фильтр.	отст.	фильтр.	отст.	фильтр.
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	-	0,7	-	0,7	-
Температура воды	°С	0,8	0,9	3,0	3,0	4,0	-	4,0	-
Мутность	мг/л	3,7	6,2	3,2	0,20	$\frac{3,2}{2,7}$	0,19	$\frac{2,6}{2,1}$	0,18
Цветность	град	40,0	36,2	4,0	4,0	$\frac{4,8}{4,2}$	3,8	$\frac{3,1}{3,0}$	3,0
рН	ед.	7,40	7,40	6,24	6,20	6,40	6,20	6,36	6,36
Щелочность	ммоль/л	0,60	0,55	0,20	0,20	0,23	0,23	0,20	0,20
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	9,10	8,20	2,60	2,24	2,40	2,20	2,50	2,30
Растворенный алюминий	мг/л	-	-	0,05	< 0,04	0,05	< 0,04	0,05	< 0,04
Содержание железа	мг/л	0,12	0,12	0,12	-	0,13	0,13	0,13	0,13
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	-	$\frac{5,0}{40,0}$	-	$\frac{1,5}{40,0}$	-
Условия перемешивания	об/мин	-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин		3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин		3 мин – 600 об/мин, 2 мин – 150 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	

Примечание: В табл. 3.2.4 числитель - значения показателей качества воды через 5 мин отстаивания при добавлении песка и через 1,5 при добавлении железного порошка, в знаменателе – через 40 мин отстаивания для обоих утяжелителей.

Из рис. 3.16 видно, что качество осветленной воды при ее коагулировании с введением добавок-утяжелителей было лучшим, чем без этих добавок, при этом продолжительности отстаивания сокращались в 8-26 раз. Так при обычной коагуляции без применения утяжелителей мутность осветленной воды составляла 3,2 мг/л, цветность – 4,0 град, перманганатная окисляемость – 2,6 мг O_2 /л (после 40 мин отстаивания), при добавке песка качество осветленной воды уже после 5 мин отстаивания характеризовалось мутностью 3,2 мг/л, цветностью 4,8 град, окисляемостью 2,4 мг O_2 /л.

При добавлении железного порошка качество осветленной воды после 1,5 мин отстаивания характеризовалось следующими показателями: мутность осветленной воды – 2,6 мг/л, цветность – 3,1 град, перманганатная окисляемость – 2,5 мг O_2 /л. После фильтрования обработанной воды с применением добавок-утяжелителей ее качество было также выше, чем без их применения.

Таким образом установлено, что оптимальными условиями перемешивания воды при коагулировании невиской воды с добавлением в качестве утяжелителя кварцевого песка являлись: быстрое перемешивание в течение 3 мин при 300 об/мин, медленное перемешивание (флокуляция) – 2 мин при 100 об/мин, затем 1 мин при 50 об/мин. При добавлении железного порошка: быстрое перемешивание в течение 3 мин при 600 об/мин, медленное перемешивание – 2 мин при 150 об/мин и 1 мин при 50 об/мин.

В результате проведенных опытов на невиской воде подтверждены предварительные результаты (п. 3.1), что введение добавок-утяжелителей способствует интенсификации процесса коагуляции воды, а также позволяет значительно сократить время перемешивания и отстаивания.

3.2.2. Коагулирование невской воды с добавлением в качестве утяжелителя смеси песка и железного порошка

В данном разделе был изучен процесс коагулирования воды с использованием в качестве добавки-утяжелителя смеси кварцевого песка и железного порошка (табл. 3.2.5). Опыты проводились при введении в воду песка дозой 0,7 г/л, смеси кварцевого песка дозой 0,6 г/л и железного порошка дозой 0,1 г/л, а также при разных условиях перемешивания, при разном месте ввода утяжелителей (табл. 3.2.5). Коагулирование воды осуществлялось при оптимальных дозах реагентов.

Условия перемешивания при коагулировании воды без утяжелителя были следующими: быстрое перемешивание в течение 3 мин со скоростью перемешивания 60 об/мин, медленное перемешивание – 17 мин при скорости перемешивания 15 об/мин ($t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин).

При коагулировании воды с использованием утяжелителей применены эффективные условия перемешивания для песка: быстрое перемешивание – 3 мин со скоростью перемешивания 300 об/мин, медленное перемешивание – 2 мин со скоростью 100 об/мин и 1 мин при 50 об/мин ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин).

Результаты проведенных опытов при оптимальных условиях коагуляции без добавок и с добавками смеси песка и железного порошка, а также добавка только кварцевого песка приведены на рис. 3.17.

Таблица 3.2.5

Результаты исследований по коагулированию воды с использованием в качестве утяжелителя смеси песка и железного порошка

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды		Ед. изм.	Кач-во воды р. Невы	Кач-во обраб. воды	Коагулирование воды при следующих условиях:											
					Без добавок		С добавкой песка		С добавкой кварцевого песка и железного порошка							
					Серии опытов:											
					№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5		№ 6	
					Качество очищенной воды после:											
					отст.	фильтр.	отст.	фильтр.	отст.	фильтр.	отст.	фильтр.	отст.	фильтр.	отст.	фильтр.
Доза	добавок: песка	г/л	-	-	-		0,7		0,6 (кварцевый песок)							
	порошка				-		0,1 (железный порошок)									
Мутность	мг/л	1,30	3,80	3,20	0,20	3,90	0,30	3,80	0,30	3,00	0,12	5,50	0,40	7,50	0,80	
Цветность	град	38,00	33,80	4,00	4,00	5,00	4,00	5,40	4,00	4,10	3,80	5,80	4,10	6,70	5,20	
рН	ед.	7,41	7,45	6,24	6,20	6,70	6,70	6,64	6,62	6,60	6,56	6,40	6,40	6,35	6,30	
Щелочность	ммоль/дм ³	0,68	0,68	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	
Окисляемость	мгО ₂ /л	8,20	7,20	2,70	2,24	2,75	2,60	2,50	2,40	2,60	2,50	2,50	2,40	2,40	2,30	
Железо	мг/л	0,07	0,07	-	-	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,05	
t _{отст.}	мин	-	-	40,0		5,0										
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин		3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин								3 мин – 300 об/мин, 17 мин – 100 об/мин		
Место ввода утяжелителей		-	-	-		ввод песка в начале быстрого перемешивания		добавки вводили после быстрого перемешивания		ввод песка и порошка в начале быстрого перемешивания		песок в начале быстрого перемешивания, порошок при медленном перемешивании				

Примечание: В опыте № 4 доза флокулянта увеличена на 20 %.

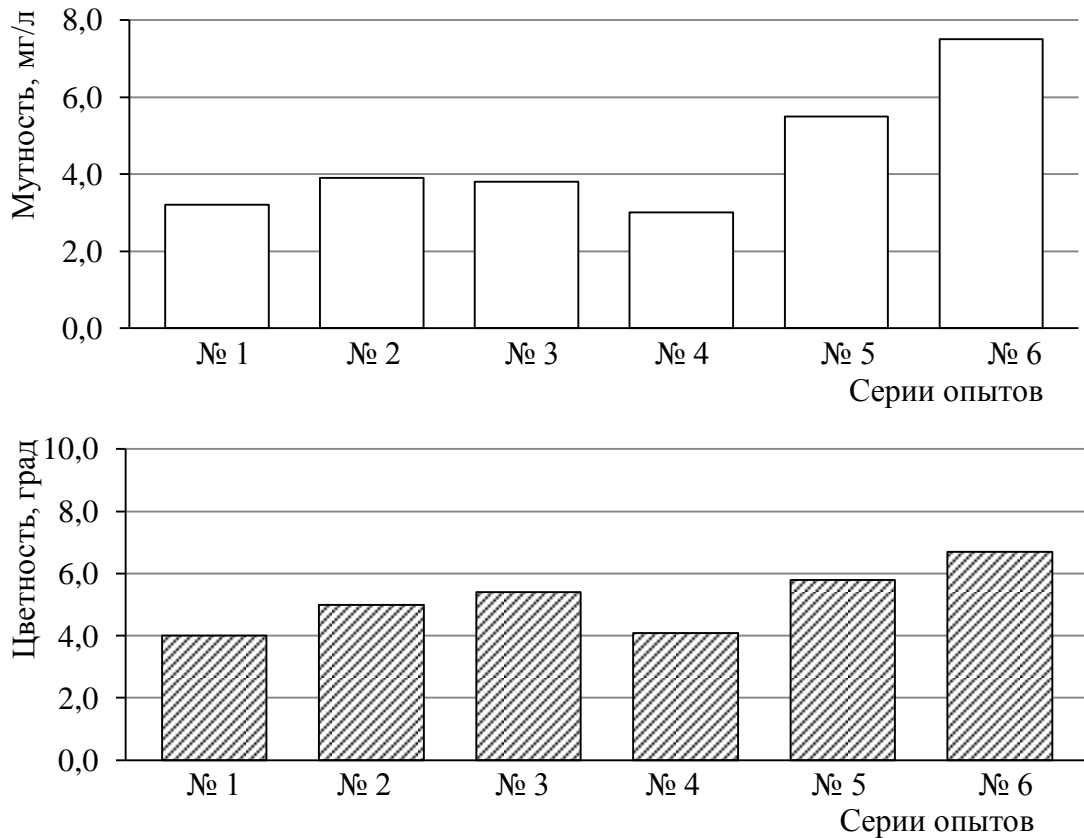


Рис. 3.17. Качество воды (мутность, цветность) после отстаивания коагулированной воды без добавок, с добавлением смеси железного порошка с песком и только песка:

№ 1 – Коагулирование воды без утяжелителей с оптимальными дозами реагентов;

№ 2 – Коагулирование воды, с введением песка дозой 0,7 г/л в начале быстрого перемешивания; № 3 – То же, ввод песка (0,6 г/л) и железного порошка (0,1 г/л) после быстрого перемешивания; № 4 – То же, что и № 3, но с увеличением дозы флокулянта на 20 % от оптимальной дозы; № 5 – То же, ввод кварцевого песка (0,6 г/л) и порошка (0,1 г/л) в начале быстрого перемешивания при 300 об/мин; № 6 – То же, ввод песка (0,6 г/л) в начале быстрого перемешивания при 300 об/мин, а железного порошка (0,1 г/л) после быстрого перемешивания.

Как видно из рис. 3.17 применение при коагулировании воды в качестве добавки смеси песка и железного порошка не дали улучшения качества очищенной воды после отстаивания по сравнению с применением только песка, при увеличении дозы флокулянта (на 20 %) качество осветленной воды несколько улучшалось.

В результате исследований определено, что применение при коагуляции воды смеси песка и железного порошка не имеет преимуществ по сравнению с однородной добавкой песка, или железного порошка.

3.2.3. Определение возможности снижения доз реагентов при коагулировании невской воды с введением добавок-утяжелителей

Основной задачей опытов было определение возможности снижения дозы реагентов (коагулянта и флокулянта) при коагуляции невской воды с добавлением в качестве утяжелителя кварцевого песка [117].

Сравнительные исследования процесса коагуляции воды с введением в качестве утяжелителя кварцевого песка проводились при обычных и пониженных дозах реагентов [54], в частности при снижении дозы коагулянта на 10 и 20 %, флокулянта – на 20 % по сравнению с оптимальными их дозами при коагуляции воды без добавок и с добавками (табл. 3.2.6).

При коагулировании воды без добавления песка образовывались рыхлые хлопья, которые медленно оседали и частично всплывали на поверхность воды. Использование песка при обработке невской воды способствовало образованию крупных и плотных хлопьев, которые быстро осаждались. Песок вводился в обрабатываемую воду дозой 0,7 г/л (п. 3.1.3). Продолжительность отстаивания составляла $t_{\text{отст.}} = 5$ мин.

При коагулировании воды р. Невы с добавлением песка, и с использованием флокулянта, качество осветленной воды значительно улучшалось по сравнению с качеством обработанной воды без использования флокулянта (табл. 3.2.6).

Таблица 3.2.6

Результаты исследований по коагулированию невской воды с добавкой кварцевого песка со снижением доз реагентов

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды		Ед. изм.	Качество исх. воды	Коагулирование воды при следующих условиях:							
				Без добавок	С добавкой песка						
					При оптим. параметрах и дозах реагентов	Снижение дозы коагулянта		Снижение дозы флокулянта на 20 %	Без флокулянта		
						на 10 %	на 20 %				
				Серии опытов:							
					№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		
Качество осветленной воды после:											
	отст.	отст.	отст.	фильтр.	отст.	отст.	фильтр.	отст.			
Доза:	коагулянта по Al_2O_3	мг/л	-	7,50	7,50	6,75	-	6,00	7,50	-	7,50
	флокулянта	мг/л	-	0,19	0,19	0,19	-	0,19	0,15	-	-
	утяжелителя	г/л	-	-	0,7	0,7	-	0,7	0,7	-	0,7
$t_{\text{воды}}$		°C	1,0	3,0							
Мутность		мг/л	4,90	3,20	3,90	3,47	0,11	3,33	4,07	0,14	9,23
Цветность		град	31,40	4,00	3,60	3,97	2,80	5,87	4,00	3,00	13,50
рН		Ед.	7,60	6,24	6,24	6,47	6,46	6,41	6,33	6,30	6,58
Щелочность		ммоль/л	0,68	0,20	0,30	0,32	0,30	0,34	0,29	0,28	0,28
Окисляемость		мг O_2 /л	8,10	2,70	2,70	3,17	3,00	2,80	2,60	2,70	4,50
Растворенный алюминий		мг/л	0,10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
Время отстаивания		мин	-	40	5						
Условия перемеш.			(1)	(2)							

Примечание: (1) – 3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 50 об/мин; (2) – 3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин.

Результаты опытов по коагулированию воды с использованием кварцевого песка с уменьшением дозы коагулянта и флокулянта приведены на рис. 3.18.

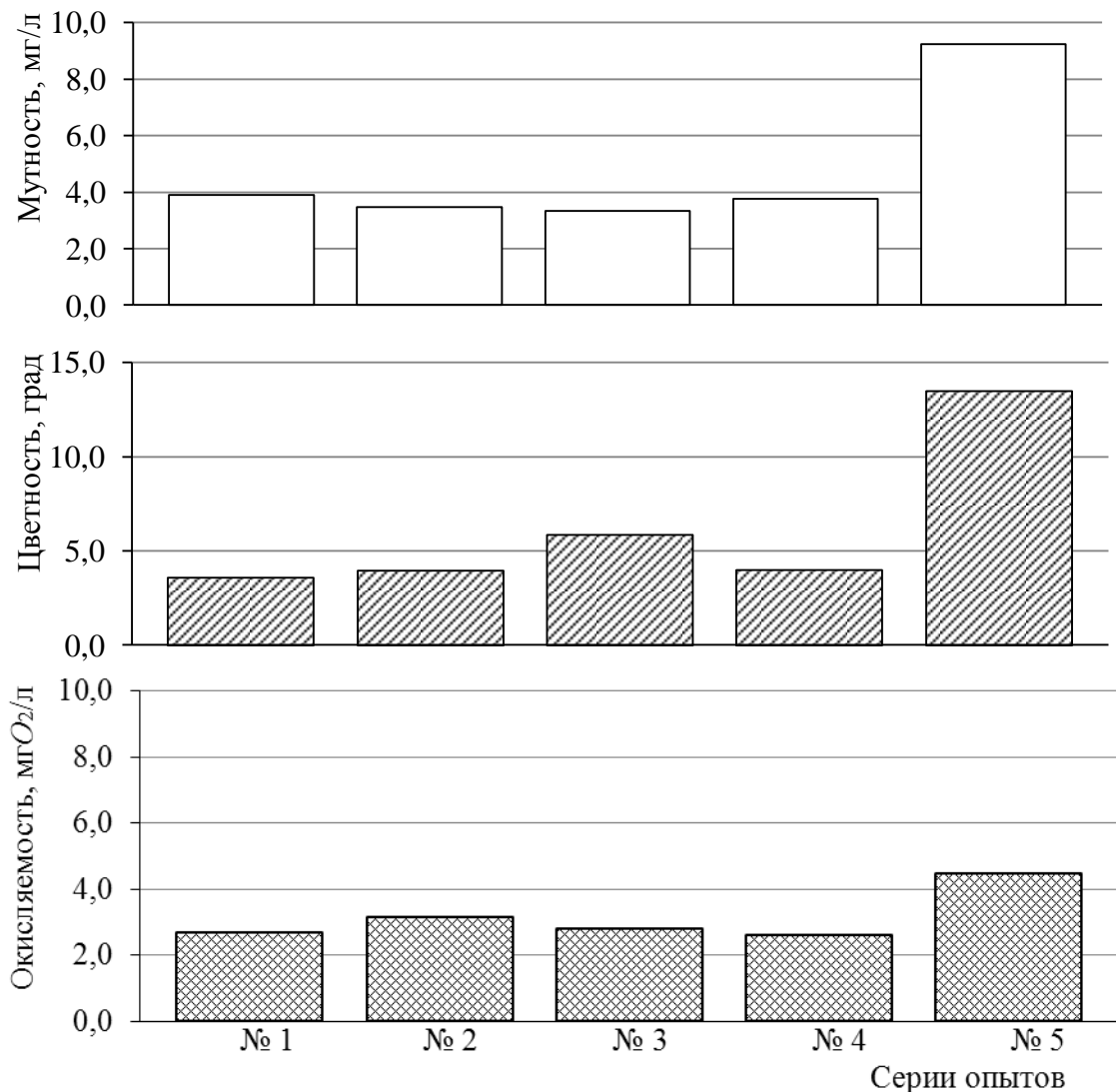


Рис. 3.18. Изменение качества воды (мутность, цветность, окисляемость) при добавке кварцевого песка в зависимости от дозы реагентов при следующих условиях: № 1 – Коагулирование воды с добавкой песка с оптимальными дозами реагентов; № 2 – То же, снижение дозы коагулянта на 10 %; № 3 – То же, снижение дозы коагулянта на 20 %; № 4 – То же, снижение дозы флокулянта на 20 %; № 5 – То же, без флокулянта.

Из полученных результатов видно, что добавление кварцевого песка при коагулировании воды позволило снизить оптимальную дозу коагулянта на 10 % или дозу флокулянта на 20 % (по сравнению с их дозами при обычном коагулировании воды) без ухудшения качества очищенной воды.

После фильтрования качество очищенной воды, обработанной реагентами с применением добавок-утяжелителей, было также выше, чем без применения добавок.

На рис. 3.19 приведены сравнительные данные о качестве очищенной фильтрованной воды после коагуляционной очистки, в частности, без утяжелителей с оптимальными дозами реагентов (№ 1), то же, с добавкой песка (№ 2), а также с уменьшением дозы коагулянта на 10 % (№ 3) и флокулянта на 20 % (№ 4).

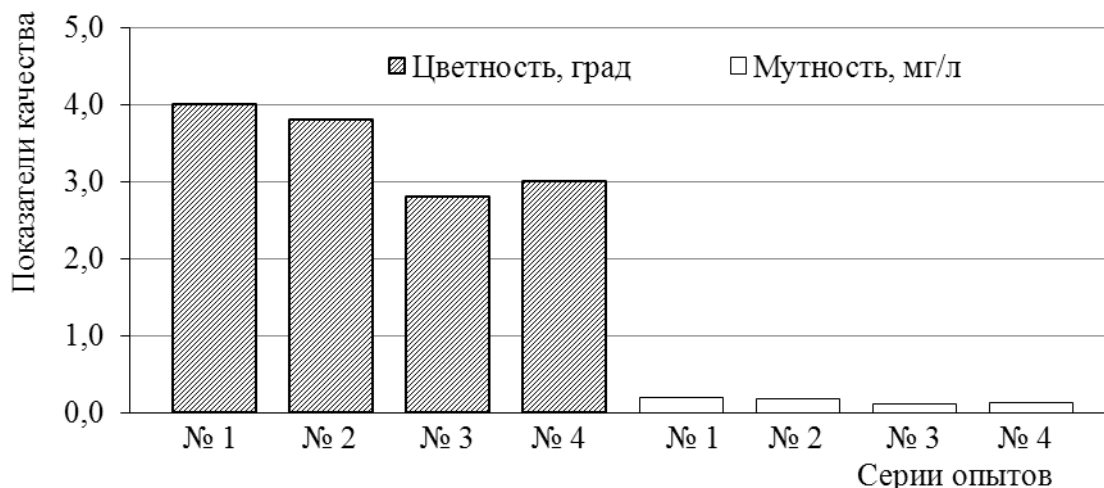


Рис. 3.19. Качество осветленной воды (мутность и цветность) после ее фильтрования: № 1 – Коагулирование воды без добавок с оптимальными дозами реагентов: доза коагулянта – 7,50 мг/л, флокулянта – 0,19 мг/л; № 2 – Коагулирование воды с добавкой песка с оптимальными дозами реагентов; № 3 – То же, (доза коагулянта – 6,75 мг/л); № 4 – То же, (доза флокулянта – 0,15 мг/л).

Результаты исследований (рис. 3.18 и 3.19) показали, что добавление кварцевого песка при коагулировании невиской воды позволяет снизить оптимальную дозу коагулянта на 10 % и дозу флокулянта на 20 % (по сравнению с оптимальными их дозами при обычной коагуляции воды) без ухудшения качества очищенной воды [117].

3.2.4. Определение оптимальной дозы добавок-утяжелителей при коагулировании невиской воды

В результате проведенных ранее исследований (п. 3.1.3) была определена эффективная доза добавок-утяжелителей при коагуляции воды без применения флокулянта, которая составила для всех добавок 0,7 г/л.

В данном разделе изучалось влияние добавления флокулянта при коагулировании невиской воды на дозу добавляемых утяжелителей [121].

Результаты опытов приведены в табл. 3.2.7 и табл. 3.2.8. Коагулирование воды осуществлялось при оптимальных дозах реагентов и условиях перемешивания воды с добавлением утяжелителей (кварцевого песка и железного порошка) (п. 3.2.1).

Изменение качества очищенной воды после оптимального времени отстаивания при разных дозах кварцевого песка, добавляемого при коагулировании воды, показано на рис. 3.20 (доза изменялась от 0,05 до 1,00 г/л).

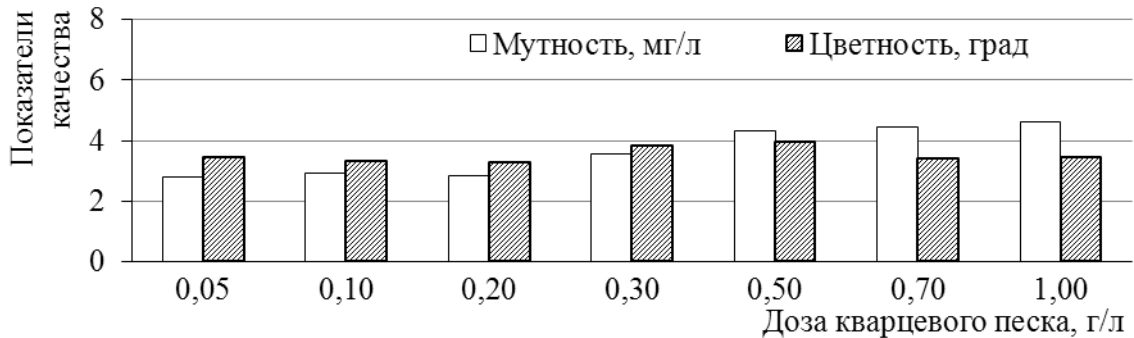


Рис. 3.20. Влияние дозы вводимого при коагулировании воды песка на качество очищенной воды после ее отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин)

Дозы железного порошка при коагулировании невской воды менялись от 0,05 до 2,00 г/л. На рис. 3.21 приведено качество очищенной воды после отстаивания коагулированной воды при разных дозах вводимого утяжелителя.

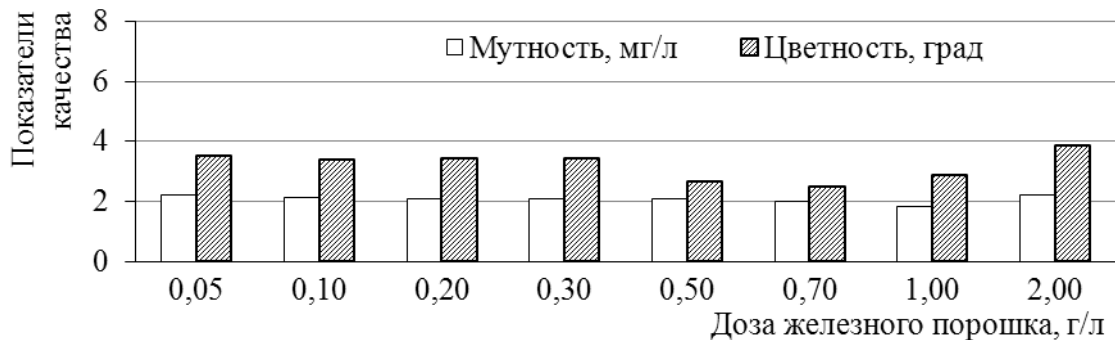


Рис. 3.21. Влияние дозы вводимого при коагулировании воды железного порошка на качество очищенной воды после ее отстаивания ($t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин)

Как видно из представленных данных по коагулированию невской воды применение флокулянта позволило снизить дозу используемых добавок до 0,05 г/л, при этом качество воды практически не ухудшается (рис. 3.20 и 3.21). Поэтому для дальнейших исследований экономичной и эффективной дозой утяжелителей при коагулировании воды с применением флокулянта принята доза 0,05 г/л.

Таблица 3.2.7

Определение оптимальной дозы вводимого кварцевого песка при коагулировании воды с применением флокулянта

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество воды р. Невы	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды с добавкой кварцевого песка						
				Качество осветленной воды после отстаивания						
Доза утяжелителя	г/л	-	-	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00
Температура воды	°С	1,50		2,90						
Мутность	мг/л	0,95	2,55	2,80	2,93	2,84	3,55	4,33	4,47	4,60
Цветность	град	36,00	30,00	3,47	3,33	3,30	3,83	3,97	3,40	3,47
рН	Ед.	7,54	7,45	6,30	6,30	6,30	6,56	6,64	6,64	6,64
Щелочность	ммоль/дм ³	0,60	0,62	0,23	0,23	0,23	0,27	0,28	0,28	0,28
Время отстаивания	мин	-	-	5,0						
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин						

Таблица 3.2.8

Определение оптимальной дозы вводимого железного порошка при коагулировании воды с применением флокулянта

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество воды р. Невы	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды с добавкой железного порошка							
				Качество осветленной воды после отстаивания							
Доза утяжелителя	г/л	-	-	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00	2,00
Температура воды	°С	1,50		2,30							
Мутность	мг/л	0,95	2,55	2,20	2,13	2,10	2,10	2,10	2,00	1,83	2,20
Цветность	град	36,00	30,00	3,53	3,40	3,47	3,47	2,67	2,50	2,90	3,87
рН	Ед.	7,54	7,45	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Щелочность	ммоль/дм ³	0,60	0,62	0,26	0,26	0,26	0,26	0,28	0,28	0,28	0,28
Время отстаивания	мин	-	-	1,5							
Условия перемешивания	об/мин	-	-	3 мин – 600 об/мин, 2 мин – 150 об/мин, 1 мин – 50 об/мин							

Поскольку в процессе коагулирования воды в качестве утяжелителя применялся железный порошок (возможно также применение магнетита), то было проверено не происходит ли изменение содержания железа в воде при их длительном контакте с водой.

Железный порошок и магнетит были замочены в дистиллированной воде для определения изменения концентрации железа в воде во времени (рис. 3.22).

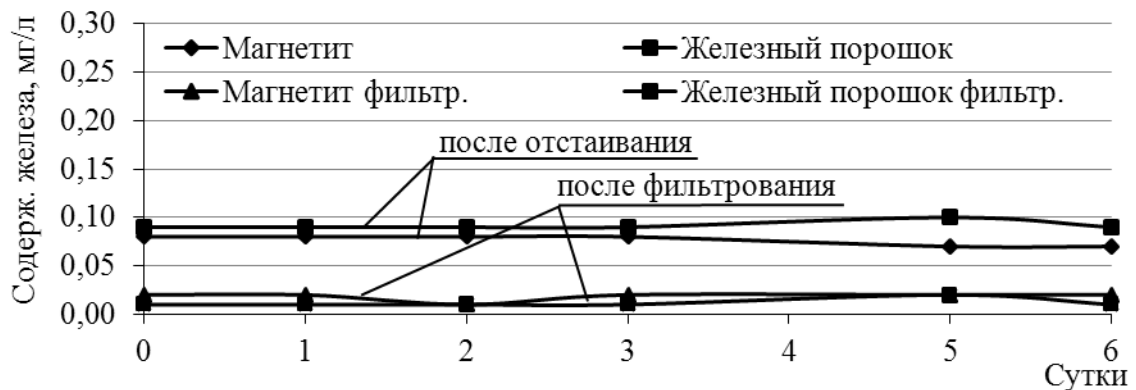


Рис. 3.22. Изменение содержания железа в воде при контакте с железосодержащими добавками

Результаты опытов, представленные на рис. 3.22, свидетельствовали о том, что добавление железосодержащих утяжелителей при коагулировании воды незначительно увеличивало содержание железа в воде. Так, при добавлении железного порошка содержание железа в дистиллированной воде увеличивалось до значений 0,09-0,10 мг/дм³, при добавлении магнетита – до 0,07-0,08 мг/дм³ при длительном контакте с водой. После фильтрации воды, содержание железа составляло 0,01-0,02 мг/дм³ для обоих видов утяжелителей.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение железного порошка (или магнетита) при коагуляции практически не приводило к повышению содержание железа в очищенной (фильтрованной) воде. Концентрация железа в воде во всех случаях не превышала ПДК на питьевую воду (0,3 мг/дм³).

3.2.5. Влияние температуры воды на ход процесса коагуляции с введением добавок-утяжелителей

Опыты по изучению влияния температуры обрабатываемой невской воды на эффективность коагуляционной ее обработки с применением в качестве утяжелителей кварцевого песка и железного порошка проводились при температуре воды 3,3 °С и 27,0 °С.

Дозы утяжелителей в опытах были приняты 0,05 и 0,70 г/л для каждой добавки (табл. 3.2.9). Коагулирование воды с добавлением утяжелителей проводилось при оптимальных условиях перемешивания (п. 3.2.1). Продолжительность отстаивания составляла при введении песка $t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин, железного порошка – $t_{\text{отст.}} = 1,5$ мин, без применения добавок – $t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин.

Как показали результаты проведенных исследований [121], применение добавок-утяжелителей способствовало эффективному проведению процесса коагулирования воды независимо от температуры обрабатываемой воды (табл. 3.2.12 и рис. 3.23), хотя некоторое улучшение качества осветленной воды наблюдалось при более высокой ее температуре.

Таблица 3.2.9

Коагулирование воды с добавлением кварцевого песка и железного порошка с разными их дозами при разной температуре обрабатываемой воды $t_{\text{воды}} = 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ и при $t_{\text{воды}} = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество воды реки Нева	Качество Обрабатываемой воды	Коагулирование воды при следующих условиях:									
				Без добавления утяжелителя	С добавкой кварцевого песка	С добавкой железного порошка	Без добавления утяжелителя	С добавкой кварцевого песка	С добавкой железного порошка				
				Серии опытов									
				1 серия	2 серия	3 серия	4 серия	5 серия	6 серия				
				Осветленная вода, после отстаивания									
				Номера опытов:									
				№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,05	0,7	0,05	0,7	-	0,05	0,7	0,05	0,7
Температура воды	$^\circ\text{C}$	2,7	3,1	3,3					27,0				
Мутность	мг/л	1,30	4,64	2,00	1,40	1,80	0,90	0,35	1,10	0,58	1,10	0,60	0,30
Цветность	град	35,0	28,0	4,80	4,00	3,80	3,30	4,00	4,20	4,40	4,20	3,80	3,90
pH	Ед.	7,40	7,44	6,35	6,32	6,33	6,32	6,34	6,31	6,32	6,33	6,33	6,32
Щелочность	ммоль/ дм ³	0,60	0,63	0,23	0,23	0,23	0,20	0,23	0,20	0,23	0,23	0,23	0,20
Окисляемость	мгО ₂ /л	7,90	8,10	2,96	2,80	2,64	2,48	2,64	2,40	2,48	2,48	2,32	2,16
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	5,0	1,5	40,0	5,0	1,5				
Условия перемешивания	-	-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	3 мин – 600 об/мин, 2 мин – 150 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	3 мин – 600 об/мин, 2 мин – 150 об/мин, 1 мин – 50 об/мин				

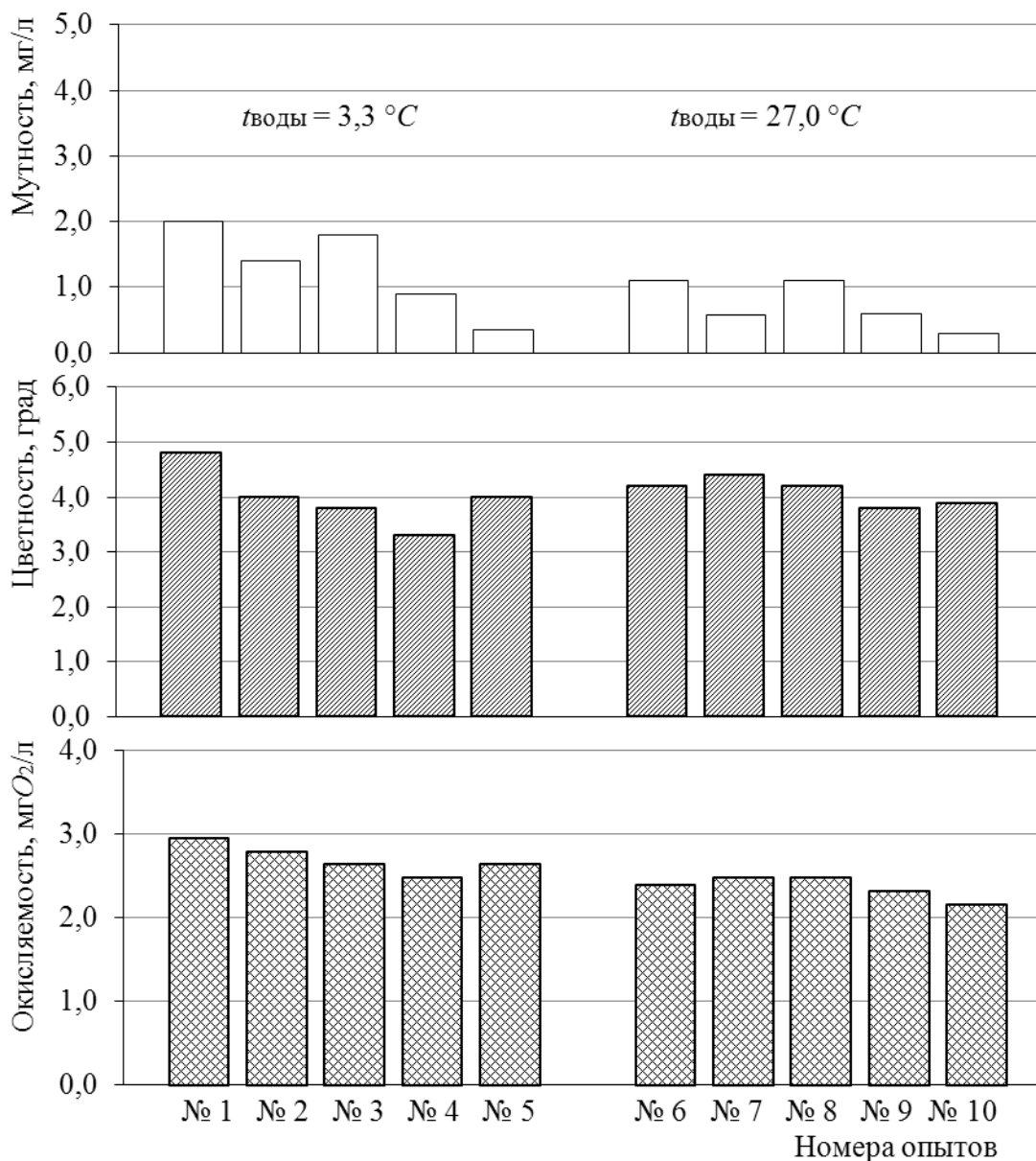


Рис. 3.23. Качество воды (мутность, цветность, окисляемость) после отстаивания коагулированной воды без добавок, с добавлением песка и железного порошка: № 1, № 6 – Коагулирование воды без добавления утяжелителей; № 2, № 7 – Тоже, с добавлением кварцевого песка дозой 0,05 г/л; № 3, № 8 – Тоже, с добавлением песка дозой 0,7 г/л; № 4, № 9 – Тоже, с добавлением железного порошка (0,05 г/л); № 5, № 10 – Тоже, с железным порошком (0,7 г/л).

Таким образом, при применении добавок-утяжелителей температура обрабатываемой воды не существенно влияла на ход процесса коагуляции и качество очищенной воды, которое во всех случаях было выше, чем при коагуляции воды без добавок утяжелителя (рис. 3.23).

3.2.6. Результаты исследований по применению микрокальцита в качестве добавки при коагулировании невской воды

Для интенсификации процесса коагулирования воды р. Невы был испытан еще один вид добавки-утяжелителя – микрокальцит (фр. 0,1 мм), выпускаемой отечественной промышленностью.

При коагулировании воды с применением микрокальцита доза коагулянта по Al_2O_3 составила 7,0 мг/л, флокулянта – 0,19 мг/л. Условиями перемешивания при коагулировании воды с данной добавкой, учитывая плотность этого материала, были такие же, как и с использованием кварцевого песка (табл. 3.2.10). (п. 3.2.1). Время отстаивания с использованием микрокальцита составило, как и при использовании песка, 5 мин.

В табл. 3.2.10 и на рис. 3.24 приведены результаты исследований по определению эффективной дозы микрокальцита, который добавлялся при коагулировании невской воды. Доза утяжелителя изменялась от 0,05 до 0,3 г/л.

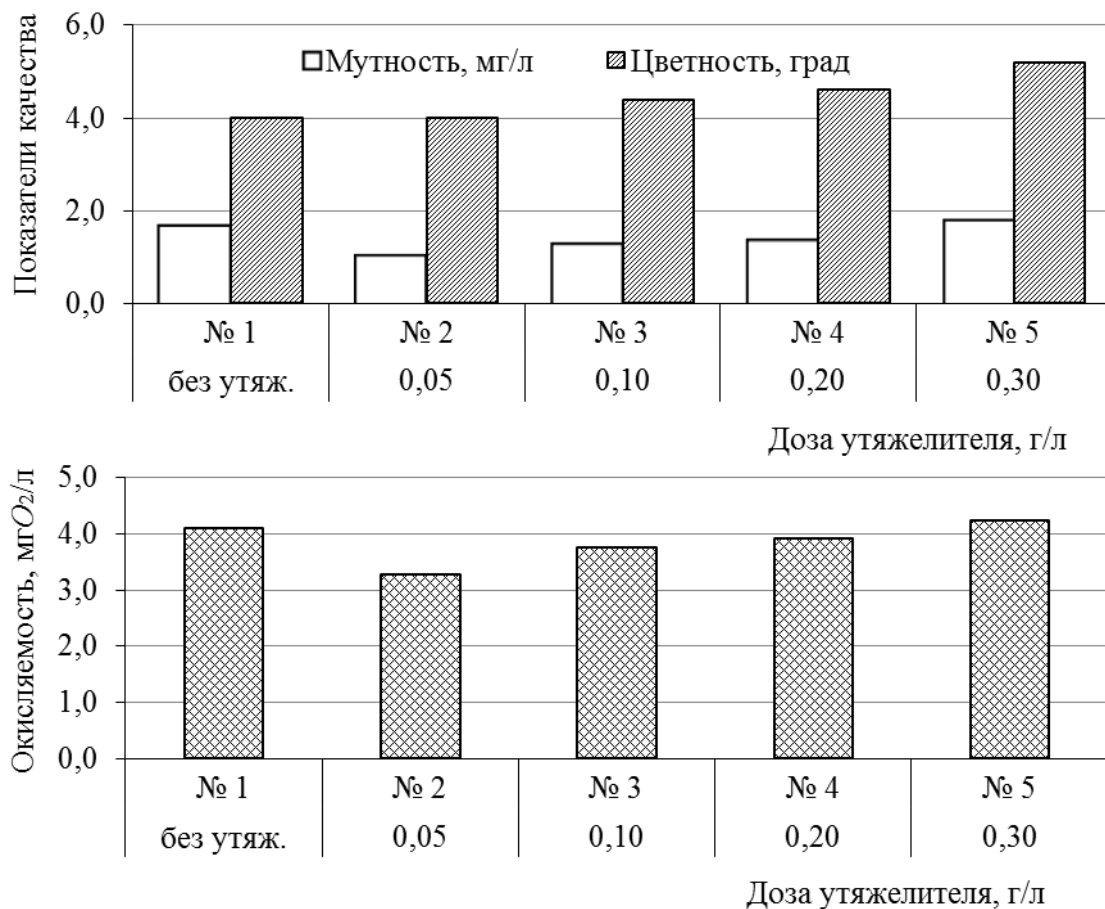


Рис. 3.24. Качество очищенной воды после отстаивания при коагулировании без добавок и с добавлением микрокальцита с разными его дозами

Таблица 3.2.10

Влияние дозы микрокальцита на качество осветленной воды

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество воды р. Невы	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды при следующих условиях:				
				Без использования утяжелителей		С добавлением микрокальцита		
				Серии опытов:				
				№1		№ 2		
				Качество осветленной воды после отстаивания				
				№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,05	0,10	0,20	0,30
Температура воды	°С	1,6	3,5	3,5	3,5			
Мутность	мг/л	1,3	1,50	1,68	1,06	1,30	1,38	1,80
Цветность	град	37,0	31,00	4,00	4,00	4,40	4,60	5,20
рН	Ед.	7,30	7,53	6,45	6,58	6,60	6,68	6,79
Щелочность	ммоль/дм ³	0,63	0,63	0,30	0,33	0,40	0,45	0,50
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	8,10	8,10	4,10	3,28	3,76	3,92	4,24
Остаточный алюминий	мг/л	-	0,07	0,89	0,48	0,47	0,46	0,56
Растворенный алюминий	мг/л	-	< 0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	5,0			
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин			

Коагулирование невиской воды с применением флокулянта и добавлением микрокальцита показало, что эффективной его дозой является доза 0,05 г/л (рис. 3.24). Микрокальцит добавлялся в обрабатываемую воду в начале быстрого перемешивания вместе с коагулянтом, в результате образовывались крупные легкооседающие хлопья. Преимуществом этого вида добавки является то, что при его применении повышалась стабильность обработанной воды, увеличивалось значение ее щелочности и pH по сравнению с качеством очищенной воды без использования микрокальцита. Так, при добавке микрокальцита дозой 0,05 г/л, щелочность воды соответствовала – 0,33 ммоль/л, при дозе 0,3 г/л щелочность воды была – 0,50 ммоль/л, а без добавления микрокальцита – 0,30 ммоль/л (табл. 3.2.10).

По результатам проведенных исследований (табл. 3.2.10) получена зависимость дополнительной щелочности очищенной воды при введении микрокальцита от его дозы, которая приведена на рис. 3.25.

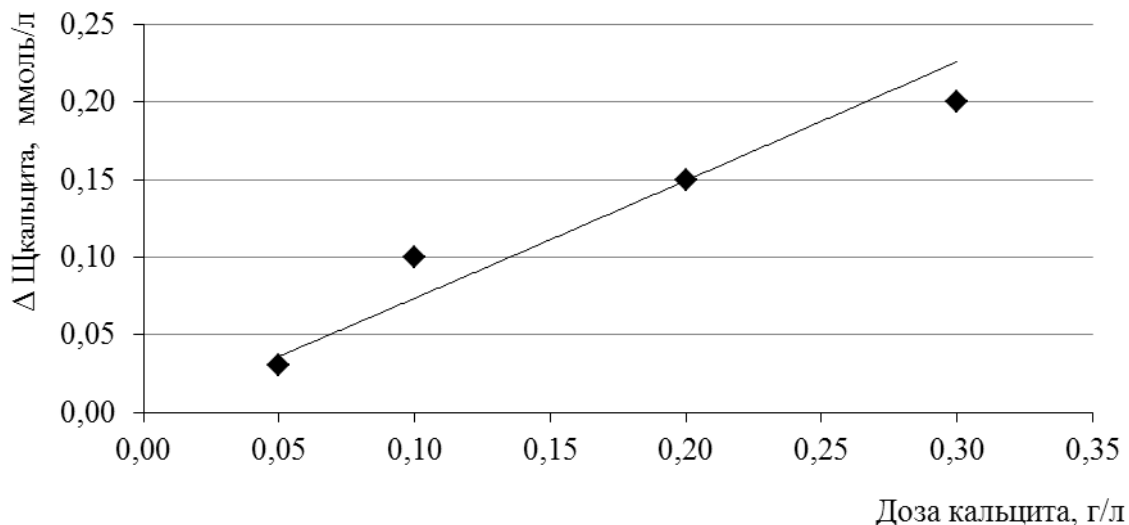


Рис. 3.25. Зависимость дополнительной щелочности воды от дозы введенного микрокальцита

Аналитическое выражение этой зависимости имеет вид:

$$\Delta \text{Щ}_k = \text{Щ}_{o.k} - \text{Щ}_o = 0,77 \cdot d_k^{1,02} \quad (3.1)$$

при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,93$

где Щ_o и $\text{Щ}_{o.k}$ – щелочность осветленной воды при коагуляции, соответственно, без применения и с применением кальцита, ммоль/л, d_k – доза кальцита, г/л.

Формула (3.1) применима к воде р. Невы со средним значением исходной щелочности 0,62 ммоль/л (гл. 2).

При применении микрокальцита изучалось также влияние температуры обрабатываемой воды на эффективность ее коагуляционной очистки. Опыты проводили при температуре обрабатываемой воды 3,8 и 25,0 °С.

Полученные результаты по коагулированию воды с добавлением микрокальцита, кварцевого песка и без использования добавок показаны на рис. 3.26 и приведены в табл. 3.2.11.

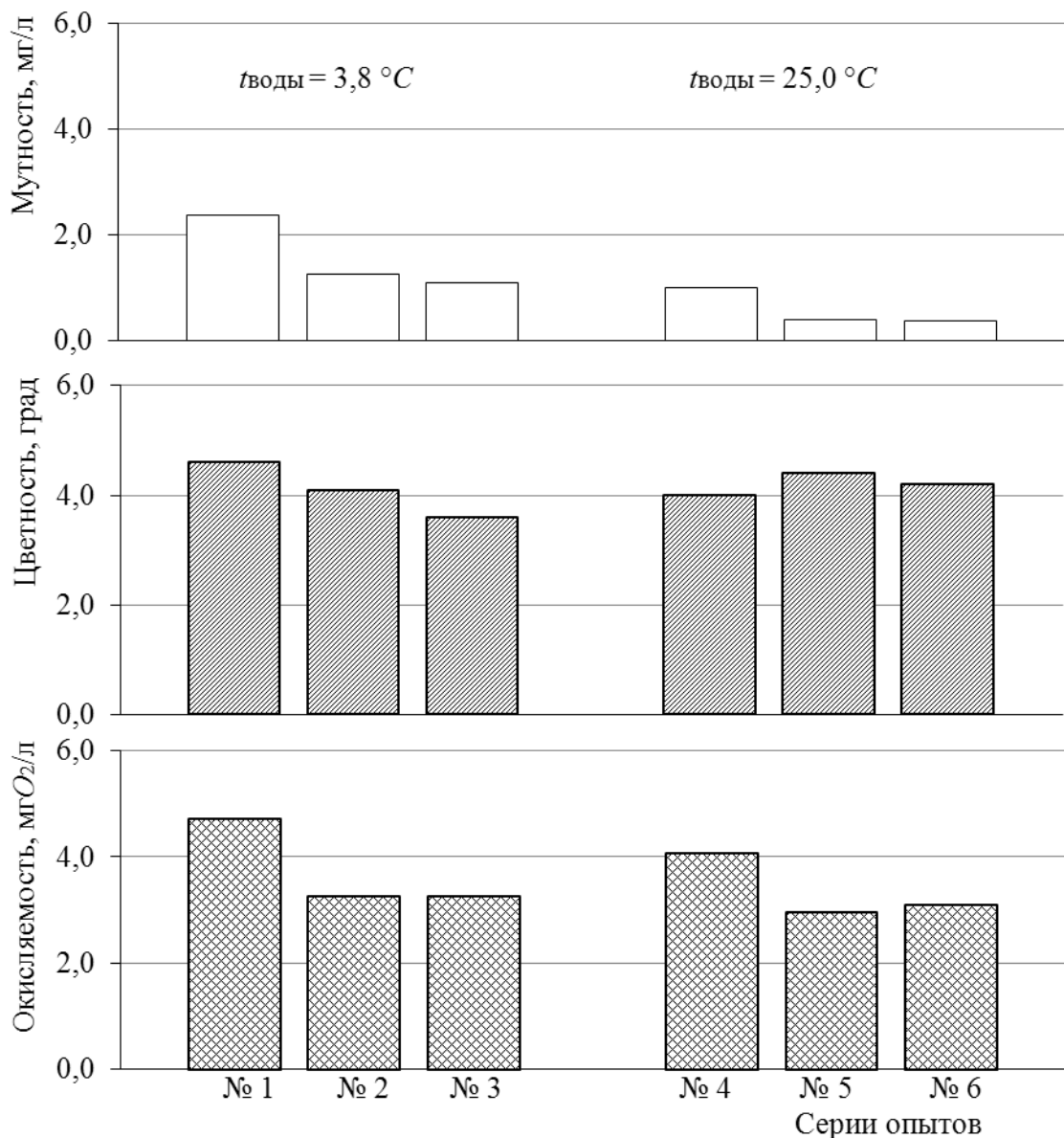


Рис. 3.26. Качество воды (мутность, цветность, окисляемость) после отстаивания коагулированной воды без добавок, с добавлением песка и микрокальцита: № 1, № 4 – Коагулирование воды без добавления утяжелителей ($t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин); № 2, № 5 – То же, с добавлением кварцевого песка дозой 0,05 г/л ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин); № 3, № 6 – То же, с добавлением микрокальцита дозой 0,05 г/л ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин).

Таблица 3.2.11

Коагулирование невской воды с добавлением в качестве утяжелителей кварцевого песка и микрокальцита при разной температуре обрабатываемой воды $t_{\text{воды}} = 3,8^{\circ}\text{C}$ и при $t_{\text{воды}} = 25,0^{\circ}\text{C}$

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Кач-во воды реки Нева	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды при следующих условиях:					
				Без добавления утяжелителя	С добавкой кварцевого песка	С добавкой микрокальцита	Без добавления утяжелителя	С добавкой кварцевого песка	С добавкой микрокальцита
				Осветленная вода, после отстаивания					
				Серии опытов					
				№1	№2	№3	№4	№5	№6
Доза утяжелителя	г/л	-	-	-	0,05	0,05	-	0,05	0,05
Температура воды	$^{\circ}\text{C}$	1,2	3,0	3,8			25,0		
Мутность	мг/л	4,20	6,70	2,38	1,26	1,10	0,99	0,39	0,36
Цветность	град	39,0	33,40	4,60	4,10	3,60	4,00	4,40	4,20
pH	Ед.	7,52	7,21	6,31	6,36	6,38	6,34	6,45	6,59
Щелочность	ммоль/дм ³	0,60	0,58	0,23	0,23	0,28	0,23	0,26	0,33
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	8,56	9,36	4,72	3,28	3,28	4,08	2,96	3,12
Время отстаивания	мин	-	-	40,0	5,0		40,0	5,0	
Условия перемешивания		-	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин		3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин	

Как видно из представленных данных, при добавке, как песка, так и микрокальцита температура обрабатываемой воды не существенно влияла на эффективность процесса коагуляции (рис. 3.26).

Применение в качестве добавок-утяжелителей микрокальцита, также как и кварцевого песка, в ходе коагуляции способствовало образованию крупных и плотных хлопьев и при высокой и при низкой температуре воды, а продолжительность последующего отстаивания сокращалась в 6-8 раз (по сравнению с обработкой воды без добавки этих утяжелителей). При добавлении микрокальцита повышалась стабильность очищенной воды.

Выводы по 3 главе

1. Исследования способа интенсификации процесса коагуляции воды с применением добавок-утяжелителей показали, что эффективный размер фракций добавок-утяжелителей составляет для песка и микрокальцита – 0,05-0,14 мм; для железного порошка и магнетита – не более 0,05 мм. При этом обеспечивалось наилучшее качество очищенной после отстаивания воды.

2. Время завершения процесса выпадения осадка при отстаивании воды после ее коагуляции с оптимальными дозами сернокислого алюминия составило: без добавок-утяжелителей – 30-40 мин; с добавлением кварцевого песка и микрокальцита – 4,5-5,0 мин; с добавлением магнетита и железного порошка – 1,0-1,5 мин.

3. По кривым выпадения осадка с добавками-утяжелителями (кварцевым песком, железным порошком, магнетитом) было определено изменение скорости его осаждения при разных высотах отстаивания (от 50 до 200 мм) и вычислены коэффициенты агломерации n . Полученные данные коэффициента агломерации n близки к данным АКХ для коагулированной минеральной взвеси (песка).

4. При коагулировании воды с добавлением утяжелителей лучшие результаты по качеству очищенной воды достигались в случае, когда утяжелители

вводились в обрабатываемую воду в начале быстрого перемешивания вместе с коагулянтом (на стадии смешения).

5. Опыты, проведенные на модельных растворах и невской воде показали, что оптимальные условия перемешивания воды с реагентами и добавляемыми утяжелителями составляют: при использовании в качестве утяжелителя кварцевого песка и микрокальцита: быстрое перемешивание (смешение) – 3 мин при 300 об/мин, медленное перемешивание (флокуляции) – 2 мин при 100 об/мин, затем 1 мин при 50 об/мин; при использовании железного порошка: быстрое перемешивание – 3 мин при 600 об/мин, медленное перемешивание – 2 мин при 150 об/мин и 1 мин при 50 об/мин.

6. Определены скорости взмучивания (витания) выпавших в осадок добавок-утяжелителей (кварцевый песок и железный порошок) при длительном времени нахождения их в осадке.

7. При введении добавок-утяжелителей во время быстрого перемешивания вместе с коагулянтом и в случае применения флокулянта, дозу используемых добавок можно снизить до 0,05, при этом качество воды практически не ухудшается.

8. При применении испытанных добавок-утяжелителей (кварцевый песок, железный порошок, микрокальцит), изменение температуры обрабатываемой воды (в пределах 3-27 °C) не оказывало существенного влияния на эффективность процессов коагуляции и флокуляции. При этом образовывались крупные, плотные комплексы хлопья-утяжелитель, и продолжительность последующего отстаивания сокращалась в 8-26 раз (по сравнению с обработкой воды без добавок-утяжелителей).

9. Применение в качестве добавки-утяжелителя кварцевого песка при коагуляции невской воды позволяло снизить оптимальную дозу коагулянта на 10 %, и дозу флокулянта – на 20 % (по сравнению с оптимальными их дозами при обычной коагуляции воды), без ухудшения качества очищенной воды.

10. Коагулирование невской воды с добавлением в качестве утяжелителя микрокальцита способствовало образованию крупных легкооседающих хлопьев, а также повышению щелочности, pH очищенной воды и улучшало ее стабильность.

11. Установлено, что добавление железосодержащих утяжелителей (железного порошка и магнетита) при коагулировании воды лишь незначительно увеличивало содержание железа в очищенной воде, даже при длительном ее контакте с утяжелителем. Концентрация железа в воде во всех случаях не превышала ПДК на питьевую воду ($0,3 \text{ мг/дм}^3$)

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД Р. НЕВА С ВВЕДЕНИЕМ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ

4.1. Описание технологической схемы очистки невской воды на блоке К-6 Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга

Производственные испытания метода интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением утяжелителей проводились на блоке К-6 Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга (ЮВС). Очистка воды р. Невы на ЮВС осуществляется по следующим технологическим схемам: одноступенной (контактные осветлители) и двухступенной, включающей горизонтальные отстойники и скорые фильтры, а также новый комплекс очистных сооружений блок К-6, реализованный по проекту фирмы «Тахал».

Очистка воды на современном блоке К-6 ЮВС СПб (блок К-6 был введен в эксплуатацию в 2010 г.) осуществляется по двухступенчатой схеме. Осветление воды происходит на четырех одинаковых технологических линиях. Проектная производительность блока К-6 составляет 370 тыс. м³/сут.

В состав первой ступени очистки воды комплекса очистных сооружений блока К-6 входят (рис. 4.1) [77]: 2 приемные распределительные камеры, 4 трубопровода диаметром 1000 мм для распределения воды по технологическим линиям осветления. На каждой линии осветления установлены: система гидравлического перемешивания воды с коагулянтom (гидравлический прыжок), камера скоростной мешалки, 3 камеры флокуляции, 4 секции полочных отстойников. По ходу технологического процесса очистки воды предусмотрено озонирование (в распределительных камерах), коагулирование и флокулирование воды, отстаивание в тонкослойных отстойниках, фильтрование и обработка гипохлоритом натрия. Фильтрование производится на скорых песчаных фильтрах, которые позже были дополнены слоем загрузки из ГАУ.

На блок К-6 подается невская вода от водозаборных сооружений ЮВС, а также и промывная вода после предварительной ее очистки. Исходные воды поступают на гидравлический прыжок, где происходит их смешение с рабочим раствором коагулянта (сернокислого алюминия), и далее в камеру скоростной мешалки. Эта камера предусмотрена для перемешивания поступающей воды с осадком из отстойников, возможность рециркуляции которого была предусмотрена технологией фирмы «Тахал», но на станции не осуществлялась.

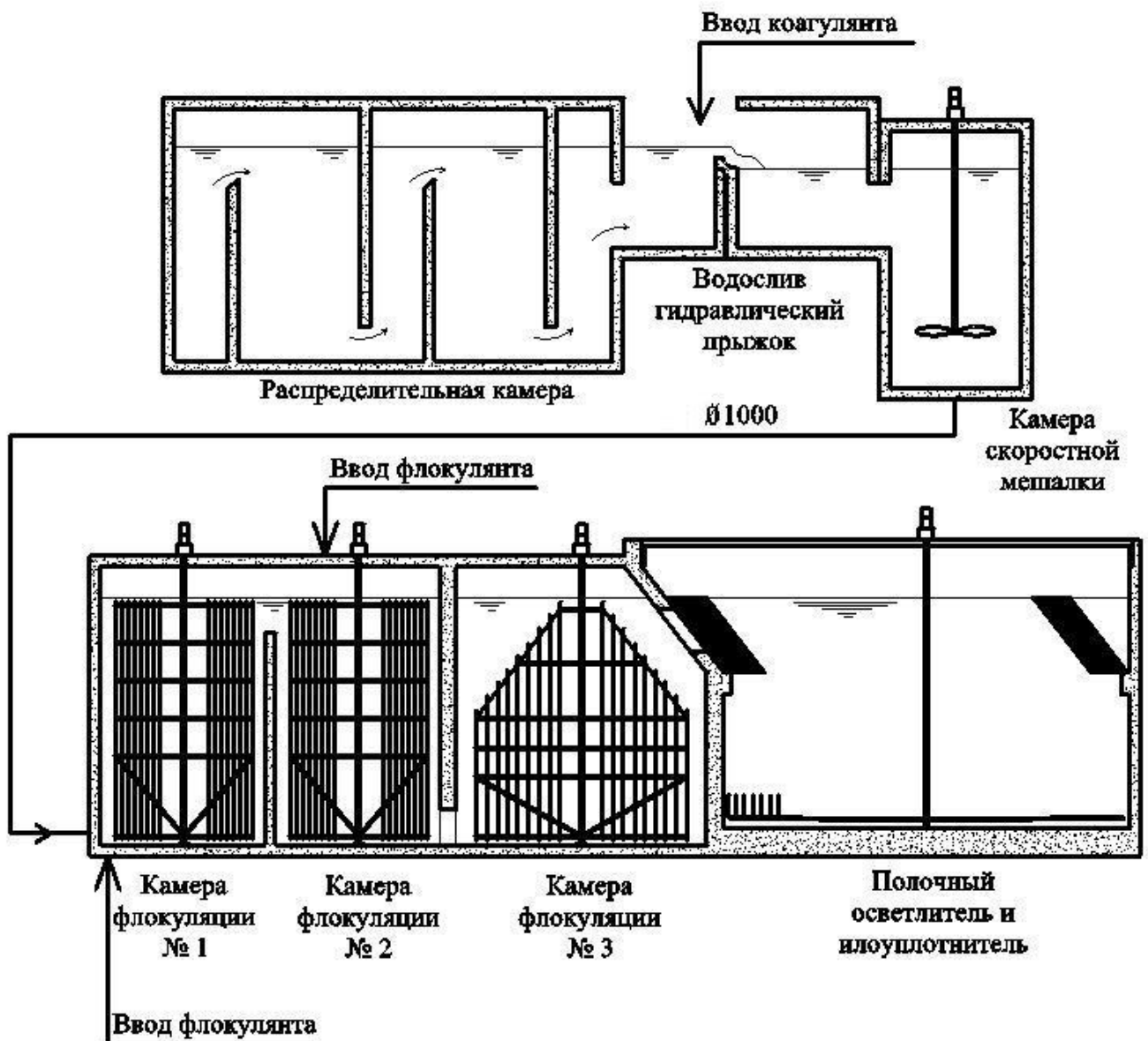


Рис. 4.1. Схема первой технологической ступени очистки воды на блоке К-6 ЮВС

Далее вода поступает в камеры флокуляции. Флокуляция происходит в три этапа при работе мешалок с разными скоростями перемешивания и с разной

продолжительностью пребывания воды в них. Раствор флокулянта подается в 1-ю и 2-ю камеры флокуляции. Окончательное укрупнение хлопьев гидрооксида алюминия, с извлекаемыми из воды примесями, происходит в третьей камере флокуляции, после чего через выпускные каналы она поступает в полочный отстойник (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Полочный отстойник блока К-6 ЮВС г. Санкт-Петербурга

Параметры перемешивания (скорости и время пребывания воды в камерах) при работе сооружений, первой ступени очистки блока К-6 ЮВС, приведены в табл. 4.1 при расходе обрабатываемой воды $Q = 370$ тыс. м³/сут.

Таблица 4.1

Параметры перемешивания воды в камерах

Название камер		Время пребывания	Скорости перемешивания*
Камера гидравлического прыжка		< 1 сек	градиент скорости $G = 1982 \text{ с}^{-1}$
Камера скоростной мешалки		1,00 мин	124,0 об /мин
Камеры флокуляции	1-ая	4,25 мин	2,0 об /мин
	2-ая	8,50 мин	2,0 об /мин
	3-ая	18,70 мин	0,6 об /мин

*по паспортным данным

Дозы коагулянта и флокулянта определяются пробным коагулированием исходной воды. Подача реагентов (в виде растворов) осуществляется автоматически пропорционально расходу подаваемой воды по заданной дозе. Раствор коагулянта вводится в обрабатываемую воду через дырчатую трубу, которая расположена по длине гидравлического прыжка и обеспечивает его равномерную подачу.

Осаждение хлопьев происходит в полочном отстойнике [77], время пребывания воды в отстойнике при проектной производительности составляет 35 мин. Распределение поступающей в отстойник обработанной воды по пластинам полочного отстойника происходит при помощи сопел, расположенных в нижней части подводящего канала. Канал оборудован серией перегородок, для снижения кинетической энергии, поступающей воды, и равномерного распределения ее по пластинам.

Осветленная вода поступает в выпускной канал через зубчатый водослив с тонкой стенкой, тем самым обеспечивается гидравлическая загрузка каждой ячейки пластины. Хлопья, оседающие на пластинах, образуют слой осадка, который сползает вниз в резервуар осадка. Для сбора осадка под пластинами установлен вращающийся скребок, с помощью него осадок собирается в центре в резервуар, откуда отводится через выпускной канал.

Осветленная вода после отстойника отправляется на вторую ступень очистки – на скорые безнапорные фильтры. Фильтрованная вода поступает в специальный канал, откуда направляется в резервуар чистой воды (РЧВ). Предварительно перед РЧВ в воду добавляют сульфат аммония и гипохлорит натрия для обеззараживания.

Камеры скоростных мешалок объемом $V = 65 \text{ м}^3$ имеют мешалки с постоянным числом оборотов $n = 124 \text{ об/мин}$.

Камеры флокуляции №№ 1, 2, 3 объемом соответственно 273 м^3 , 546 м^3 , 1200 м^3 оборудованы вращающимися мешалками с частотой вращения $n_1 = 2,0 \text{ об/мин}$, $n_2 = 2,0 \text{ об/мин}$, $n_3 = 0,6 \text{ об/мин}$.

Полочные отстойники – 4 шт. Размер каждого: 34,0 х 17,0 м. Каждый полочный отстойник имеет 10 рядов пластин, по 210 пластин в каждом ряду размером 2,8 х 1,25 м.

Отводимый из отстойников осадок отправляется на обезвоживание, предварительно обрабатывается флокулянтom (доза флокулянта 5-7 мг/л), откачка осадка из отстойника происходит периодически по мере его накопления. Влажность осадка до обезвоживания составляет 95-97%, после обезвоживания – 75-78%.

Скорые безнапорные фильтры [78] – 20 шт, площадь фильтрации одного фильтра 105,6 м². В фильтрах находятся песчаный слой высотой 0,6 м (размер зерен песка 0,5-0,6 мм) и слой гранулированного активированного угля высотой 1,2 м (размер зерен 0,9-1,1 мм).

Продолжительность фильтроцикла составляет 48-72 ч в зависимости от качества исходной воды. Промывка фильтров – водовоздушная: продувка воздухом 2-3 мин, затем обратная промывка водой в течение 15-20 мин.

Наличие второго слоя загрузки из активированного угля в фильтрах повышает эффективность удаления растворенных органических соединений, увеличивает их грязеемкость и продолжительность фильтроцикла

Сооружения обработки промывных вод [79] блока К-6 (производительностью 800 м³/час) включают в себя: два компенсационных резервуара ($V = 2500 \text{ м}^3$) с двумя горизонтальными мешалками, приемную камеру отработанной промывной воды, камеру скоростной мешалки ($V = 80 \text{ м}^3$) для смешения воды с флокулянтom, полочный отстойник с илоуплотнителем ($V = 401,8 \text{ м}^3$), приемный резервуар очищенной промывной воды ($V = 280,0 \text{ м}^3$), реагентное хозяйство для приготовления и дозирования флокулянта, и систему удаления осадка.

Дозы флокулянта изменяются от 0,2-1,0 мг/л в зависимости от качества промывной воды. Основным критерием эффективной работы сооружений очистки промывных вод служит снижение мутности и перманганатной окисляемости (pH и цветность остаются без особых изменений).

4.2. Анализ данных о работе первой ступени очистки производственных сооружений блока К-6 ЮВС в г. Санкт-Петербурге (р. Нева)

Результаты химических анализов исходной и очищенной воды (по данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»), полученных на производственных сооружениях первой ступени очистки блока К-6 ЮВС, приведены в табл. 4.2.

Качество воды р. Нева, в период 2012-2013 гг. характеризовалось следующими показателями: мутность изменялась от 0,5 до 9,7 мг/л, цветность – 27-61 град., и перманганатная окисляемость – 6,4-12,3 мг O_2 /л (максимальные значения относятся к периоду паводка). Температура воды изменялась от 0,2 до 20,5 °С.

Обработка невской воды на сооружениях блока К-6 проводилась сульфатом алюминия, доза которого изменялась от 5,4 до 10 мг/л по активной части (Al_2O_3). Доза флокулянта *Flopat FO 4290PWG* составляла 0,1-0,4 мг/л (табл. 4.2).

Эффективность работы первичного узла очистки на блоке К-6 оценивалось по качеству исходной и осветленной воды (после отстойников) по основным показателям: мутности, цветности и перманганатной окисляемости.

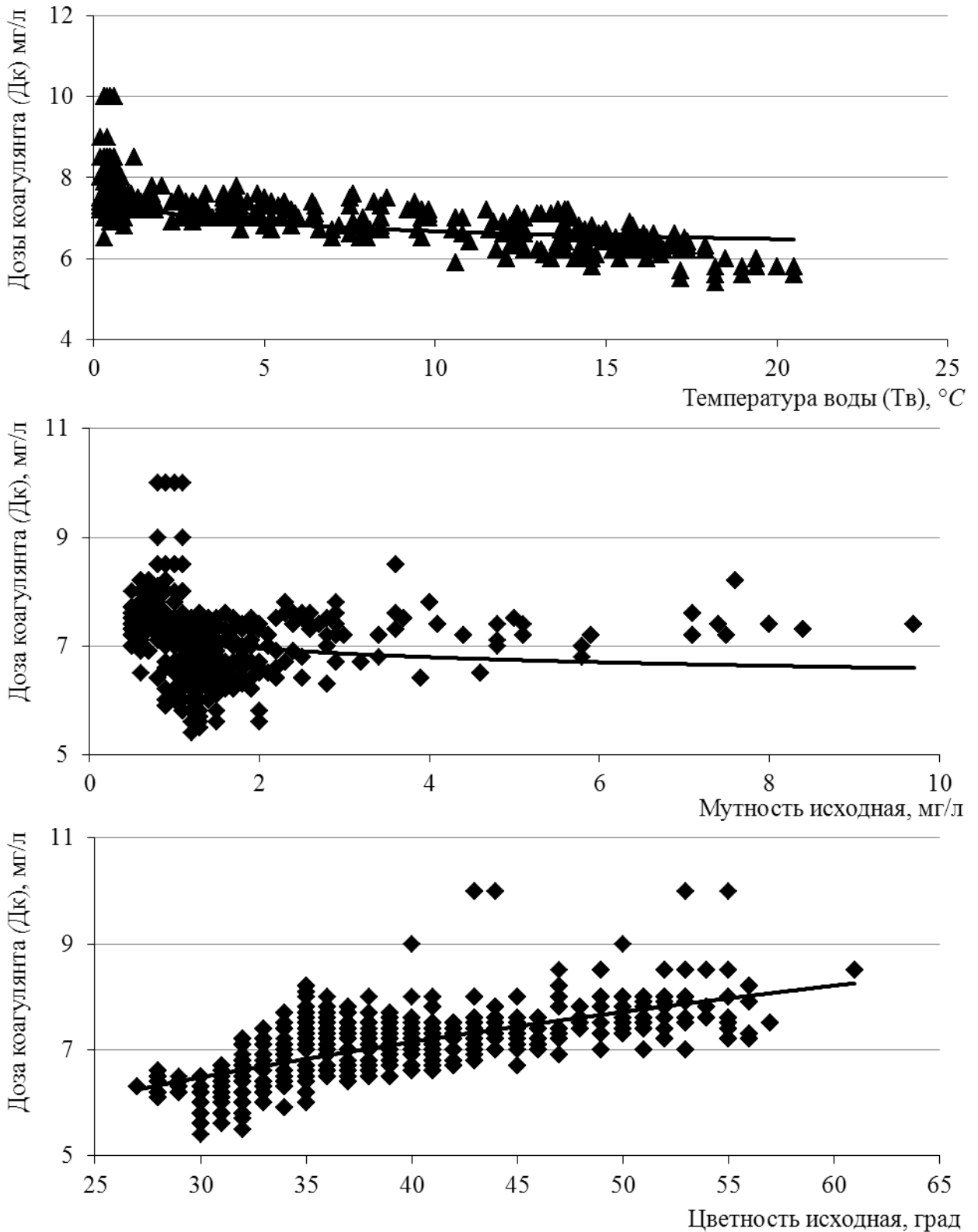
Качество очищенной воды после первой ступени очистки составляло (в среднем): по мутности – 1,5 мг/л, по цветности – 4,6 град., по перманганатной окисляемости – 3,8 мг O_2 /л (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Качество исходной и очищенной воды первой ступени очистки (после отстойников) блока К-6 ЮВС за 2012-2013 гг.

	Исходное качество невской воды:			Дозы реагентов, мг/л:		Температура воды, °С
	Концентрация взв. веществ в воде $C_{вв}$, мг/л	Цветность, град	Перман. окисл. мг O_2 /л	коагулянта D_k , мг/л	флокулянта D_f , мг/л	
мин.	11,0	27,0	6,4	5,4	0,1	0,2
средн.	14,9	39,6	8,7	7,1	0,2	6,1
макс.	26,1	61,0	12,3	10,0	0,4	20,5
	Качество воды после отстойников:					
	Мутность, мг/л	Цветность, град	Перман. окисл., мг O_2 /л			
мин.	0,2	3,0	2,1			
средн.	1,5	4,6	3,8			
макс.	6,5	8,0	7,4			

При обработке данных о работе очистных сооружений блока К-6 (табл. 4.2) были определены зависимости (рис. 4.3 и 4.4) рабочих доз коагулянта и флокулянта от показателей качества исходной воды (температуры, мутности, цветности и перманганатной окисляемости).



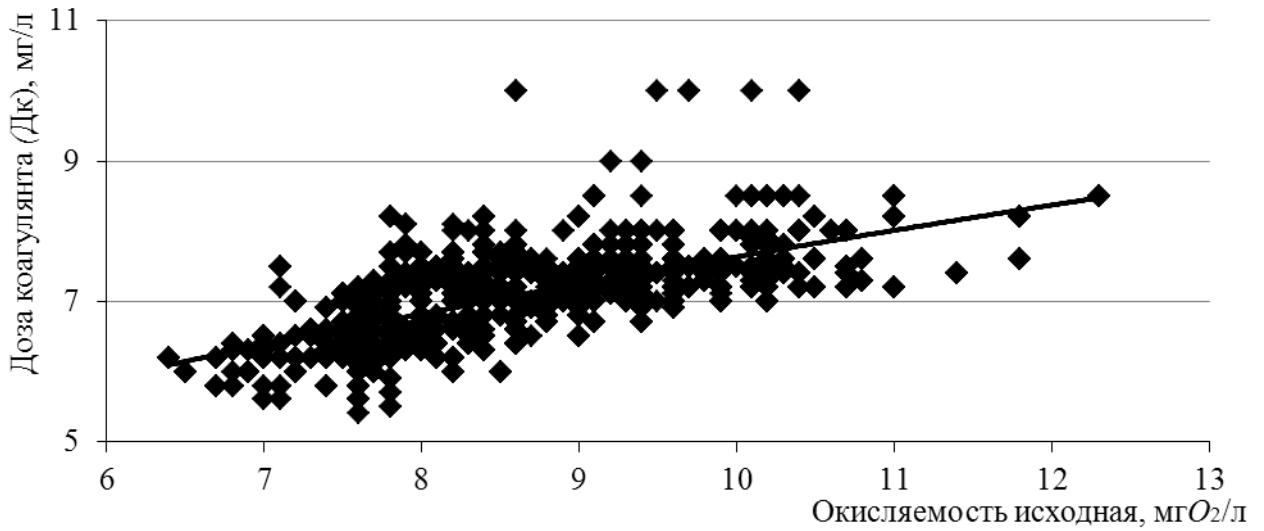
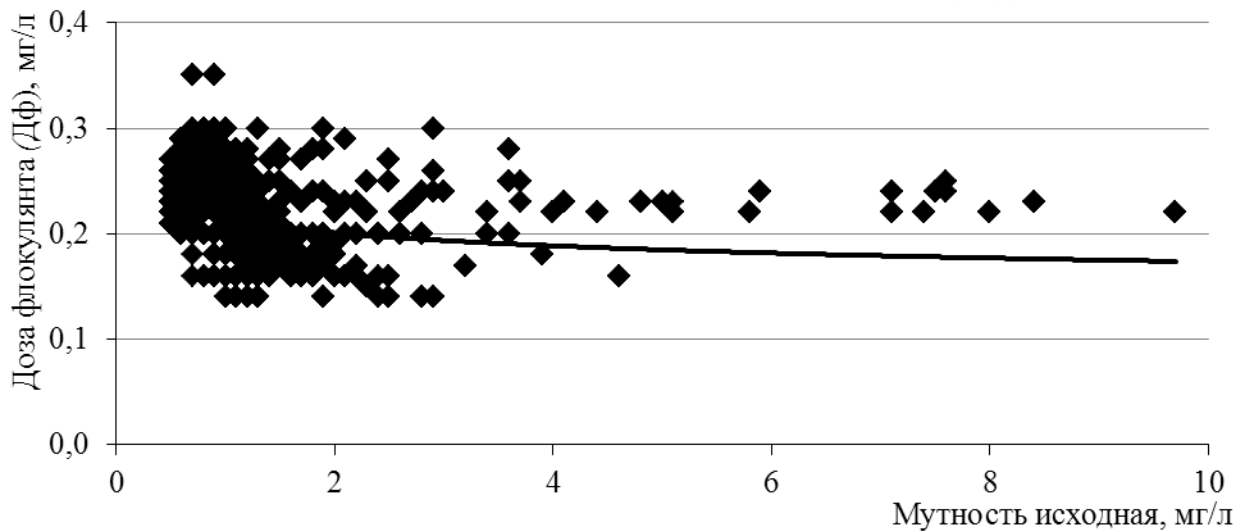
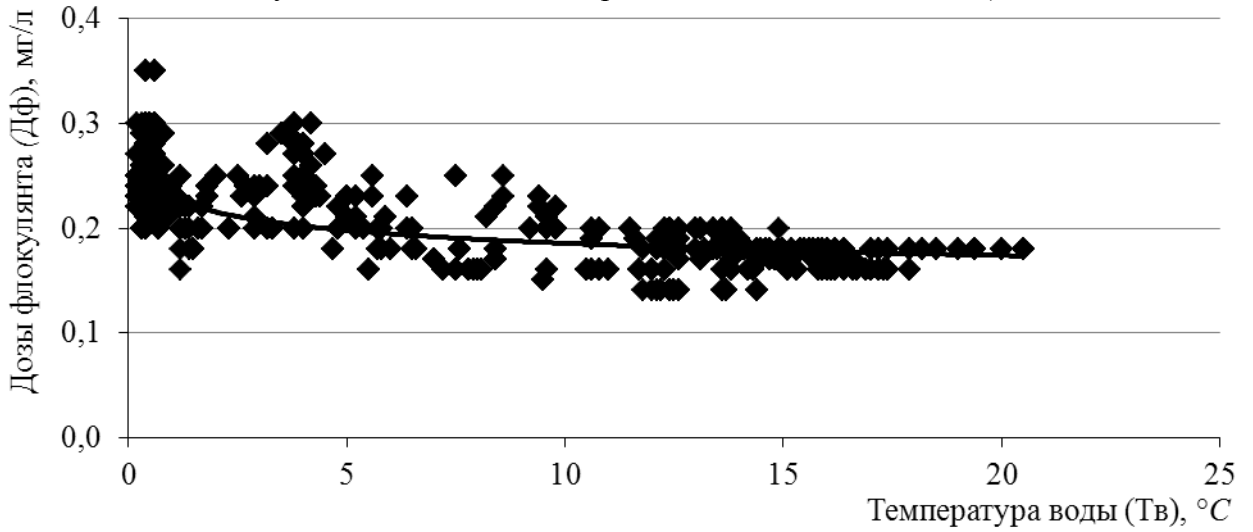


Рис. 4.3. Зависимость дозы коагулянта от показателей качества исходной воды (температуры, мутности, цветности и перманганатной окисляемости)



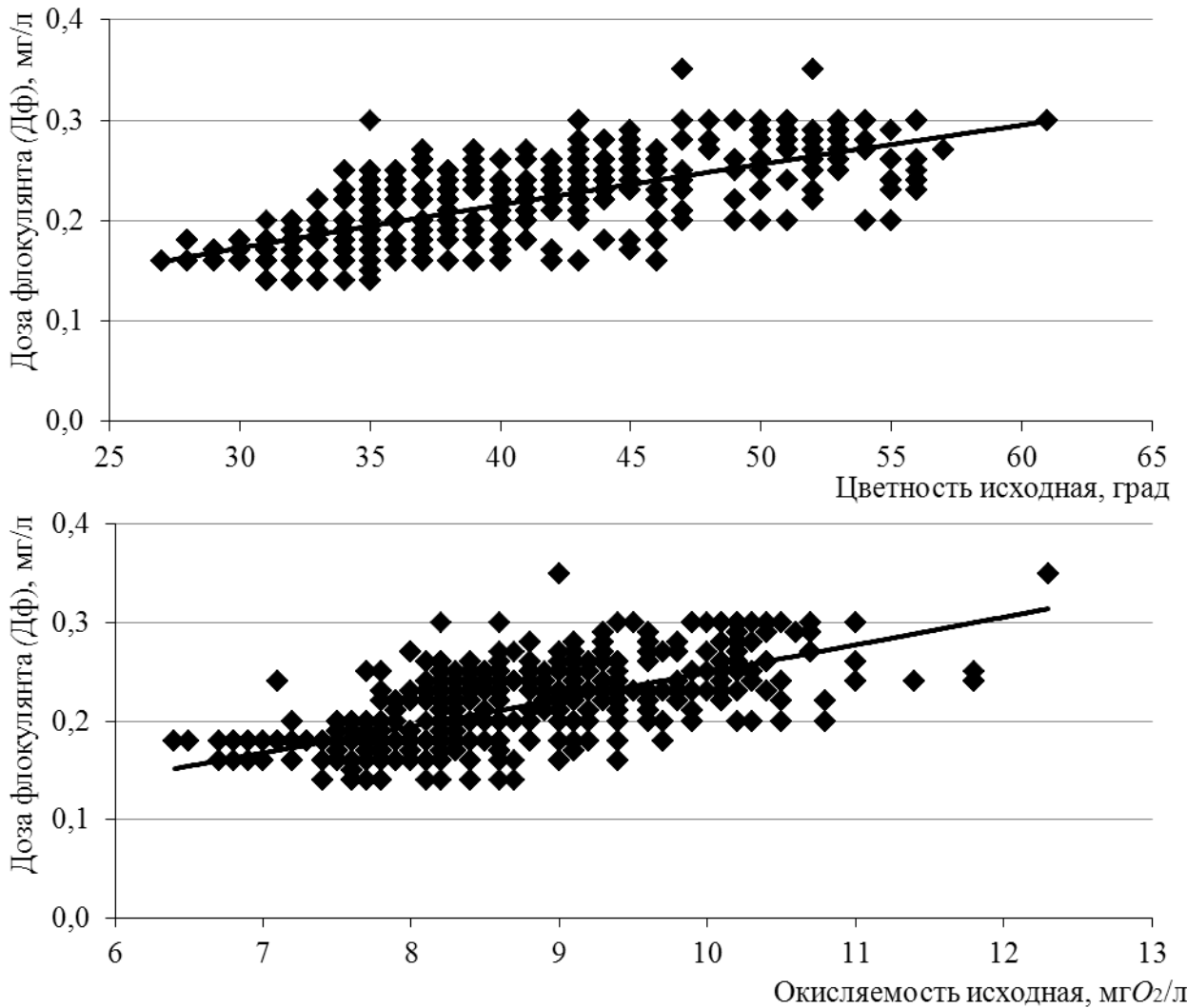


Рис. 4.4. Зависимость дозы флокулянта от показателей качества исходной воды (температуры, мутности, цветности и перманганатной окисляемости)

Как видно из этих графиков (рис. 4.3, 4.4), потребная доза реагентов меняется в зависимости от величин показателей качества исходной воды. Причем, на величину доз реагентов в значительной степени влияли показатели окисляемости и цветности невской воды, а величины показателей мутности и температуры сказываются в меньшей степени (табл. 4.3).

Математической обработкой приведенных данных получено эмпирическое уравнение (4.1) зависимости доз коагулянта (сернокислого алюминия по Al_2O_3) и флокулянта (*Flopat FO-4290PWG*) от температуры, мутности, цветности и окисляемости невской воды при ее обработке по технологии, принятой на блоке К-6 ЮВС.

В общем виде, уравнение для определения требуемой дозы реагентов при обработке невиской воды, имеет вид:

$$D_p = A \cdot T_b^a \cdot M_{исх}^b \cdot Ц_{исх}^c \cdot Ок_{исх}^d \quad (4.1)$$

где: D_k , D_f – дозы, соответственно, коагулянта и флокулянта, мг/л; T_b – температура воды, °C; $M_{исх}$ – исходная мутность воды, мг/л; $Ц_{исх}$ – исходная цветность воды, град.; $Ок_{исх}$ – перманганатная окисляемость исходной воды, мг/л, A , a , b , c и d – эмпирические коэффициенты, среднее значение этих коэффициентов (для коагулянта и флокулянта) приведено в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения коэффициентов из уравнения (4.1)

Реагент	Значения коэффициентов				
	A	a	b	c	d
Коагулянт (сернокислый алюминий по Al_2O_3)	0,72	-0,043	-0,034	0,34	0,504
Флокулянт <i>Flopat FO-4290PWG</i>	0,0013	-0,093	-0,091	0,77	1,114

4.3. Коагулирование невиской воды с использованием в качестве утяжелителя осадка из отстойника

Как было указано ранее (разд. 4.1) технологией обработки воды на блоке К-6 ЮВС предусмотрена возможность рециркуляции осадка из отстойника в камеру скоростной мешалки, с целью его использования в качестве замутнителя (утяжелителя). Однако на станции этот способ не реализован и данные по его эффективности отсутствуют [77]. Поэтому были проведены опыты по определению эффективности применения в качестве утяжелителя осадка из отстойника при коагулировании невиской воды. Доза осадка принималась по данным фирмы «Тахал»: 5 мл/л (250 мг/л по сухому веществу), дополнительно проверялась доза 50 мл/л (2500 мг/л) [54]. В период проведения опытов влажность осадка составляла 95-97 %, pH осадка – 6,36-6,46. Исследования проводились в лаборатории ЮВС в зимнее время, качество исходной воды указано в п. 3.2.

Условия проведения процесса коагуляции невской воды соответствовали технологическим параметрам производственного процесса (п. 3.2.1). Продолжительность отстаивания составляла 40 мин.

В табл. 4.4 и рис. 4.5 приведены результаты опытов по коагулированию воды при добавке в обрабатываемую воду в качестве утяжелителя – осадка (опыт № 2, № 3), а также без введения утяжелителей (опыт № 1).

Таблица 4.4

Результаты исследований по коагулированию невской воды с использованием в качестве утяжелителя осадка из отстойника

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество обработ. воды	Коагулирование воды при следующих условиях:		
			без утяжелителя	ввод в качестве утяжелителя – осадка из отстойника	
			Серии опытов:		
			№ 1	№ 2	№ 3
			Качество осветленной воды после отстаивания		
Доза осадка	мл/л	-	нет	5,0	50,0
Температура воды	°С	3,50	3,50		
Мутность	мг/л	1,10	1,61	1,52	1,50
Цветность	град	30,80	3,20	3,10	3,70
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /л	8,20	2,56	1,96	2,08
Остаточный алюминий	мг/л	0,05	0,80	0,85	0,99
Растворенный алюминий	мг/л	< 0,04	0,08	0,09	0,11
Время отстаивания	мин	-	40,0		

Коагуляция воды с добавлением осадка дозой 5 мл/л (рис. 4.5) лишь незначительно улучшало качество осветленной воды в сравнении с обычной коагуляцией воды (без добавления осадка) [121]. При введении 50 мл/л осадка, образовывалось много хлопьев, часть из них всплывала на поверхности воды.

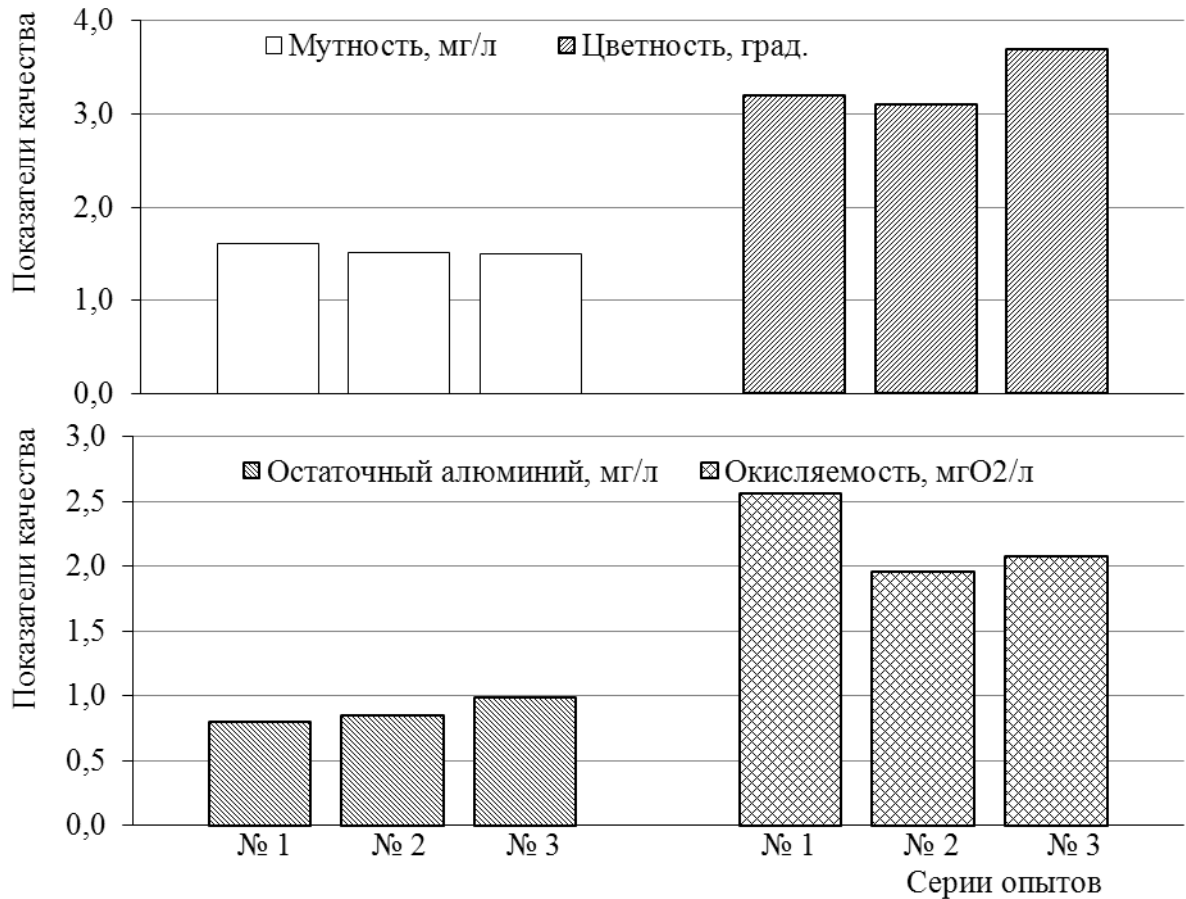


Рис. 4.5. Изменение качество коагулированной воды (мутность, цветность, остаточный алюминий, окисляемость) после отстаивания: № 1 – Коагулирование воды без добавок; № 2 – Коагулирование воды с добавкой 5 мл/л осадка; № 3 – То же, 50 мл/л осадка.

Следует отметить, что при введении осадка в осветленной воде повышалось содержание остаточного и растворенного алюминия, причем, с увеличением дозы осадка величины этих показателей возрастали. Так, при дозе вводимого осадка 5,0 мл/л содержание алюминия в осветленной воде составляло: остаточного – 0,85 мг/л, растворенного – 0,09 мг/л, а при дозе осадка 50,0 мл/л – соответственно, 0,99 и 0,11 мг/л (табл. 4.4). Для сравнения, при коагулировании воды без добавки осадка содержание алюминия в осветленной воде составляло: остаточного – 0,80 мг/л, растворенного – 0,08 мг/л. Также наблюдалось снижение щелочности и pH воды.

Таким образом, применение осадка в качестве добавки для интенсификации процесса коагулирования невской воды оказалось не целесообразным.

4.4. Коагулирование невской воды с использованием в качестве утяжелителя – смеси осадка из отстойника и кварцевого песка

Задачей исследований являлось определение целесообразности использования в качестве утяжелителя смеси осадка и песка при коагуляции невской воды. Опыты проводились при разных дозах вводимого осадка, разных соотношениях осадка и кварцевого песка, а также при разных условиях смешения и хлопьеобразования (флокуляция) и при разном времени отстаивания.

Доза осадка принималась такой же, что и предыдущих опытах (п. 4.4): 5 мл и 50 мл на 1 л обрабатываемой воды. В опытах с коагуляцией воды, где добавлялся кварцевый песок (фр. 0,05-0,14 мм), его доза составляла 0,05 г/л (п. 3.2.4).

В этой серии опытов при коагулировании воды с вводимыми добавками были испытаны два режима перемешивания:

1-ый режим соответствовал технологическим параметрам производственного процесса на ЮВС: быстрое перемешивание (смешение) продолжительностью 3 мин, со скоростью 60 об/мин, медленное перемешивание (флокуляция) – 17 мин при скорости 15 об/мин ($t_{\text{отст.}} = 40,0$ мин).

2-ой режим соответствовал оптимальным параметрам при коагулировании воды с добавкой кварцевого песка (п. 3.2.1) (быстрое перемешивание – 3 мин при скорости 300 об/мин, медленное перемешивание – 2 мин при 100 об/мин и 1 мин при 50 об/мин ($t_{\text{отст.}} = 5,0$ мин)).

При первом режиме перемешивания (табл. 4.5) коагуляция воды проводилась при добавке смеси осадка с кварцевым песком (опыт № 2), только песка (опыт № 3), а также без введения утяжелителей (опыт № 1). Результаты проведенных опытов (рис. 4.6) показали, что при этих условиях перемешивания (опыты № 2-3), вводимый песок оседал на дно уже при быстром перемешивании и в процессе флокуляции практически не участвовал.

Результаты исследований по коагулированию воды с использованием в качестве утяжелителя песка и смеси осадка с песком (при условиях перемешивания, моделирующих производственный процесс)

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды при следующих условиях:					
			без добавок	с добавкой:				
				смеси осадка и песка	песка			
			Серии опытов:			№ 1	№ 2	№ 3
			качество осветленной после отстаивания воды					
Доза осадка	мл/л	-	нет	5,0	нет			
Доза утяжелителя	г/л	-	нет	0,05	0,05			
Температура воды	°С	3,50	3,50					
Мутность	мг/л	1,10	1,61	1,89	1,83			
Цветность	град	30,80	3,20	3,30	3,90			
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /л	8,20	2,56	1,88	1,84			
Растворенный алюминий	мг/л	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04			
Время отстаивания	мин	-	40,0					
Условия перемешивания	об/мин	-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин					

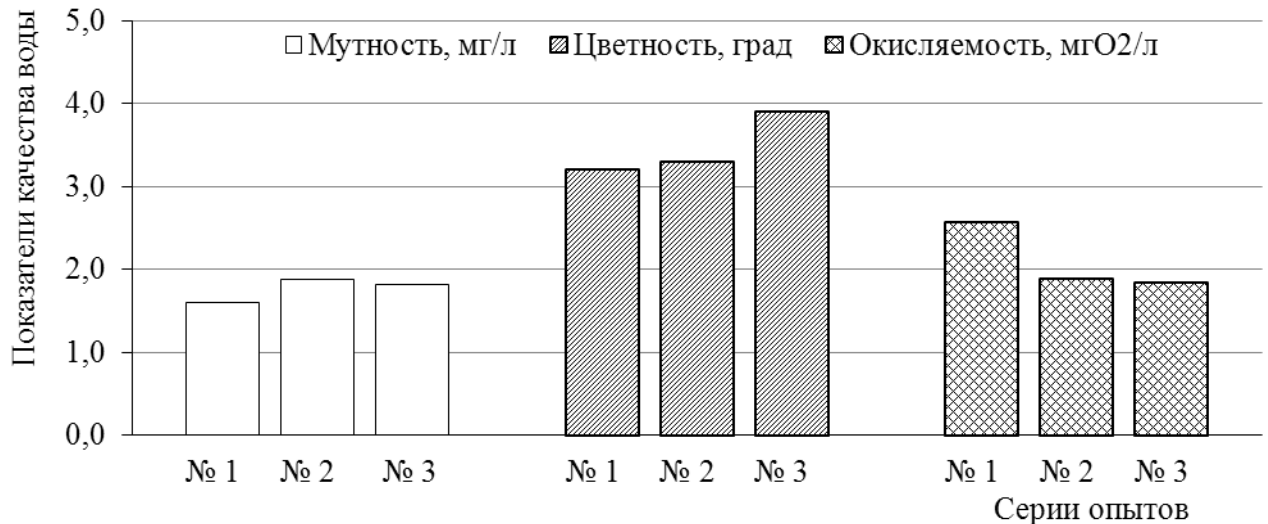


Рис. 4.6. Качество воды после отстаивания коагулированной воды при следующих условиях:
 № 1 – Коагулирование воды без утяжелителя;
 № 2 – То же, с введением 5 мл/л осадка и 0,05 г/л песка; № 3 – То же, ввод 0,05 г/л песка.

При условиях перемешивания, которые соответствуют технологическим параметрам производственного процесса (рис. 4.6), коагуляция воды с введением

только песка и смеси осадка с песком, показала практически одинаковые показатели качества осветленной после отстаивания воды (опыты № 2, 3).

Во втором режиме перемешивания (табл. 4.6) коагуляция воды проводилась при использовании тех же добавок. Ввиду повышения скоростей перемешивания в данных опытах песок во время перемешивания не оседал, при этом образовывались крупные хлопья, которые при медленном перемешивании не разрушались.

Таблица 4.6

Результаты исследований по коагулированию воды с добавлением в качестве добавок песка и смеси осадка с песком (условия перемешивания оптимальные для песка)

Параметры процесса коагуляции / Показатели качества воды	Ед. изм.	Качество обрабатываемой воды	Коагулирование воды при следующих условиях:			
			без добавок	с добавкой:		
				смеси осадка с песком	песка	смеси осадка с песком
			Серии опытов:			
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Осветленная вода, качество воды после отстаивания						
Доза осадка	мл/л	-	нет	5,0	нет	50,0
Доза утяжелителя	г/л	-	нет	0,05	0,05	0,05
Температура воды	°С	3,50	3,50			
Мутность	мг/л	1,10	1,61	1,48	1,61	1,44
Цветность	град	30,80	3,20	3,10	3,50	3,50
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /л	8,20	2,56	1,52	1,68	1,52
Растворенный алюминий	мг/л	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Время отстаивания	мин	-	40,0	5,0		
Условия перемешивания		-	3 мин – 60 об/мин, 17 мин – 15 об/мин	3 мин – 300 об/мин, 2 мин – 100 об/мин, 1 мин – 50 об/мин		

На рис. 4.7 приведены результаты опытов, проведенные при этом режиме перемешивания, по коагуляции воды без добавок и с добавками смеси осадка и песка, а так же с добавкой только песка.

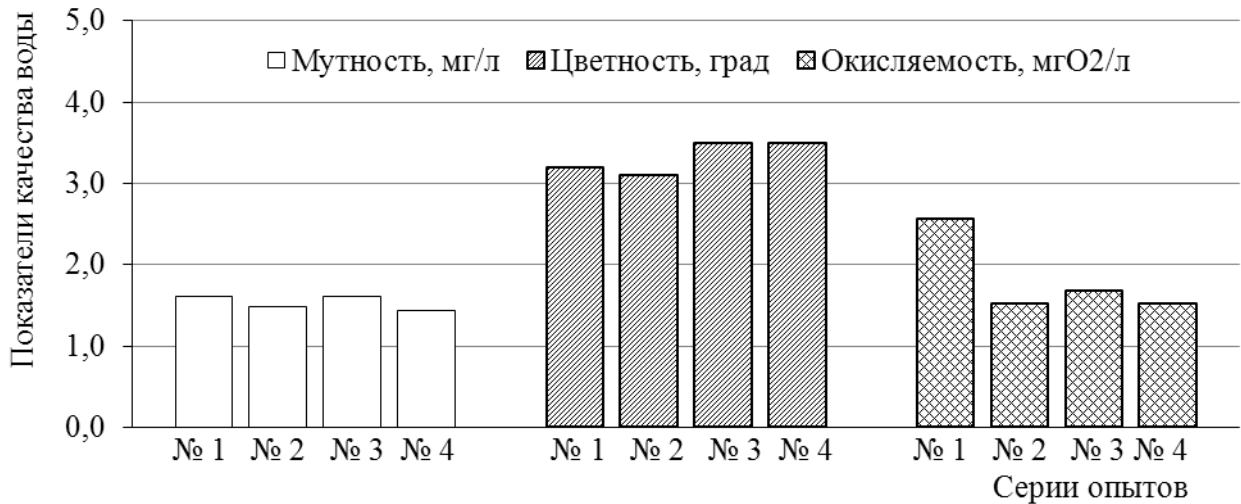


Рис. 4.7. Качество воды после отстаивания коагулированной воды при следующих условиях:
 № 1 – Коагулирование воды без утяжелителя;
 № 2 – Тоже, с введением в качестве утяжелителя смеси: 5 мл/л осадка и 0,05 г/л песка;
 № 3 – Тоже, ввод в качестве добавки 0,05 г/л песка;
 № 4 – Тоже, ввод в качестве утяжелителя смеси: 50 мл/л осадка и 0,05 г/л песка.

В этих условиях при коагулировании воды с использованием в качестве добавок песка, смеси песка с осадком (опыты № 2, № 3, № 4) (рис. 4.7) наблюдалось повышение эффективности очистки и улучшение качества очищенной воды в сравнении с результатами предыдущих опытов (рис. 4.6).

Так, при добавлении смеси осадка (5 мл/л) и песка (0,05 г/л) (рис. 4.7) эффект очистки увеличивался по мутности на 27,7 %, цветности на 6,5 %, окисляемости 23,7 % по сравнению с результатами предыдущих опытов. Добавление только песка с той же дозой (0,05 г/л) приводило практически к тем же результатам, что и при добавке смеси песка и осадка. Таким образом, применение в качестве добавок смеси осадка и песка не дало положительного эффекта, в сравнении с использованием только песка.

4.5. Влияние добавок-утяжелителей и продолжительности отстаивания на эффективность очистки невской воды

Данные опыты проведены для определения влияния различных добавок-утяжелителей и продолжительности отстаивания на эффективность очистки невской воды при ее коагуляции. В качестве утяжелителей использовались

кварцевый песок, железный порошок и микрокальцит. Оптимальные условия коагулирования невской воды с этими видами утяжелителей (доза и размер фракций утяжелителей, место их ввода и условия перемешивания) были определены в гл. 3, методика проведения опытов дана в гл. 2

В табл. 4.7 приведены результаты процесса отстаивания воды после коагуляционной обработки с использованием добавок (кварцевым песком, железным порошком) и без их использования. На рис. 4.8 приведены зависимости эффекта очистки воды (по показателям мутности и цветности) от продолжительности отстаивания. Из этих данных видно, что введение утяжелителей хлопьев коагулянта приводило к повышению качества очищенной воды (по мутности и цветности) по сравнению с коагуляцией воды без добавок.

Эффективность очистки воды при отстаивании оценивалось по показателям мутности, цветности и окисляемости, причем показатель начальной мутности определялся с учетом дозы вводимого коагулянта (добавка утяжелителя не учитывалась) и по СНиП 2.04.02-84 [105].

Таблица 4.7

Эффективность очистки невской воды (по мутности и цветности) с использованием добавок-утяжелителей и без их использования

Время отстаивания $t_{отст.}$, МИН	Качество воды после отстаивания и эффект очистки при коагулировании воды											
	без утяжелителей				с добавкой:							
					кварцевого песка				железного порошка			
	М, мг/л	Э _м , %	Ц, град	Э _ц , %	М, мг/л	Э _м , %	Ц, град	Э _ц , %	М, мг/л	Э _м , %	Ц, град	Э _ц , %
5,0	5,30	73	7,60	78	3,70	81	3,80	89	2,60	87	3,70	89
15,0	4,20	78	4,60	86	2,80	86	3,60	89	2,50	87	3,40	90
25,0	4,00	79	4,00	88	2,50	87	3,50	90	2,40	88	3,40	90
40,0	3,80	80	3,80	89	2,40	88	3,40	90	2,30	88	3,40	90

Примечание: М – мутность, Ц – цветность, Ок – окисляемость.

Качество исходной (обрабатываемой) воды: С_{св} = 19,45 мг/л [105], Мутность = 7,2 мг/л, Цветность = 34,0 град.

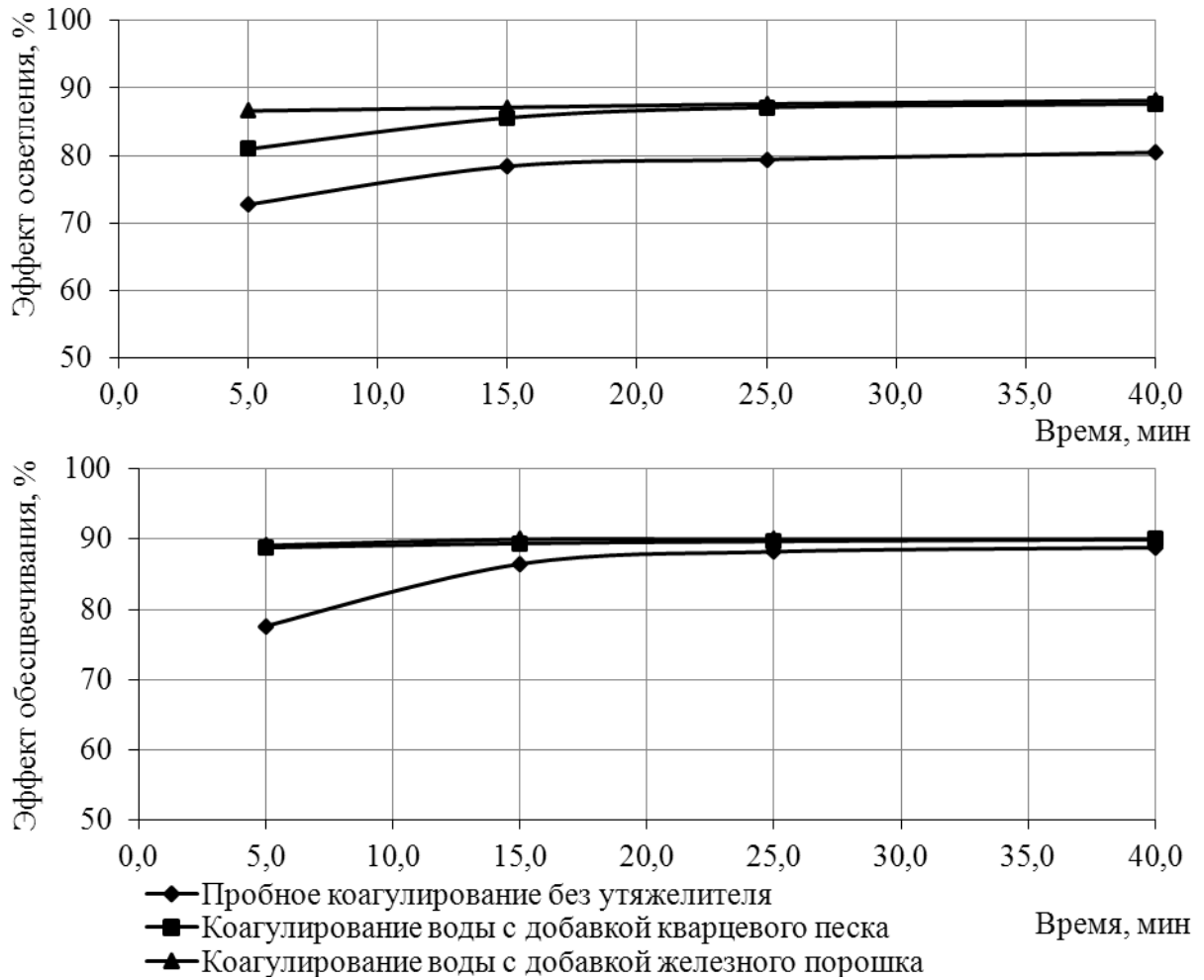


Рис. 4.8. Эффективность очистки воды (по мутности и цветности) с использованием добавок-утяжелителей и без их использования при отстаивании

Дополнительно были проведены исследования по выявлению влияния утяжелителей на эффективность очистки невской воды при продолжительности отстаивания в интервале до 5 мин. Результаты проведенных опытов приведены в табл. 4.8 и на рис. 4.9.

Таблица 4.8

Коагулирование невской воды с использованием разных добавок-утяжелителей

Время $t_{отст}$, сек	Качество воды после отстаивания и эффект очистки при коагулировании воды											
	Без утяжелителей						С добавкой кварцевого песка					
	М, мг/л	\mathcal{E}_m %	Ц, град	\mathcal{E}_c %	Ок, мгО ₂ /л	$\mathcal{E}_{ок}$, %	М, мг/л	\mathcal{E}_m %	Ц, град	\mathcal{E}_c %	Ок, мгО ₂ /л	$\mathcal{E}_{ок}$, %
15,0	7,62	51	8,60	73	7,75	6	3,20	79	5,00	84	4,16	50
30,0	7,25	53	8,20	74	7,25	12	2,66	83	5,00	84	4,16	50
60,0	6,55	58	8,00	75	7,12	14	2,40	84	5,00	84	3,92	52
90,0	6,32	59	6,50	80	6,96	16	2,32	85	4,20	87	3,92	52
180,0	5,24	66	5,20	84	6,16	25	2,16	86	4,00	87	3,71	55
300,0	3,83	75	5,00	84	5,70	31	1,95	87	3,80	88	3,44	58

Время $t_{отст}$, сек	С добавкой микрокальцита						С добавкой железного порошка					
	М, мг/л	Θ_m %	Ц, град	$\Theta_{ц}$ %	Ок, мгО ₂ /л	$\Theta_{ок}$, %	М, мг/л	Θ_m %	Ц, град	$\Theta_{ц}$ %	Ок, мгО ₂ /л	$\Theta_{ок}$, %
15,0	4,10	73	5,00	84	4,56	45	2,38	85	4,80	85	4,56	45
30,0	3,89	75	5,00	84	4,40	47	2,20	86	4,60	86	4,40	47
60,0	3,07	80	5,00	84	4,24	49	2,10	86	4,40	86	4,24	49
90,0	2,63	83	4,60	86	4,24	49	2,10	86	4,20	87	4,08	50
180,0	2,30	85	4,40	86	4,08	50	2,00	87	4,20	87	4,08	50
300,0	2,13	86	4,20	87	4,08	50	1,95	87	4,20	87	3,92	52

Качество исх. воды: $C_{свв} = 15,47$ мг/л [105], $M_{исх} = 7,2$ мг/л, $C_{исх} = 31,8$ град, $O_{кисх} = 8,24$ мгО₂/л

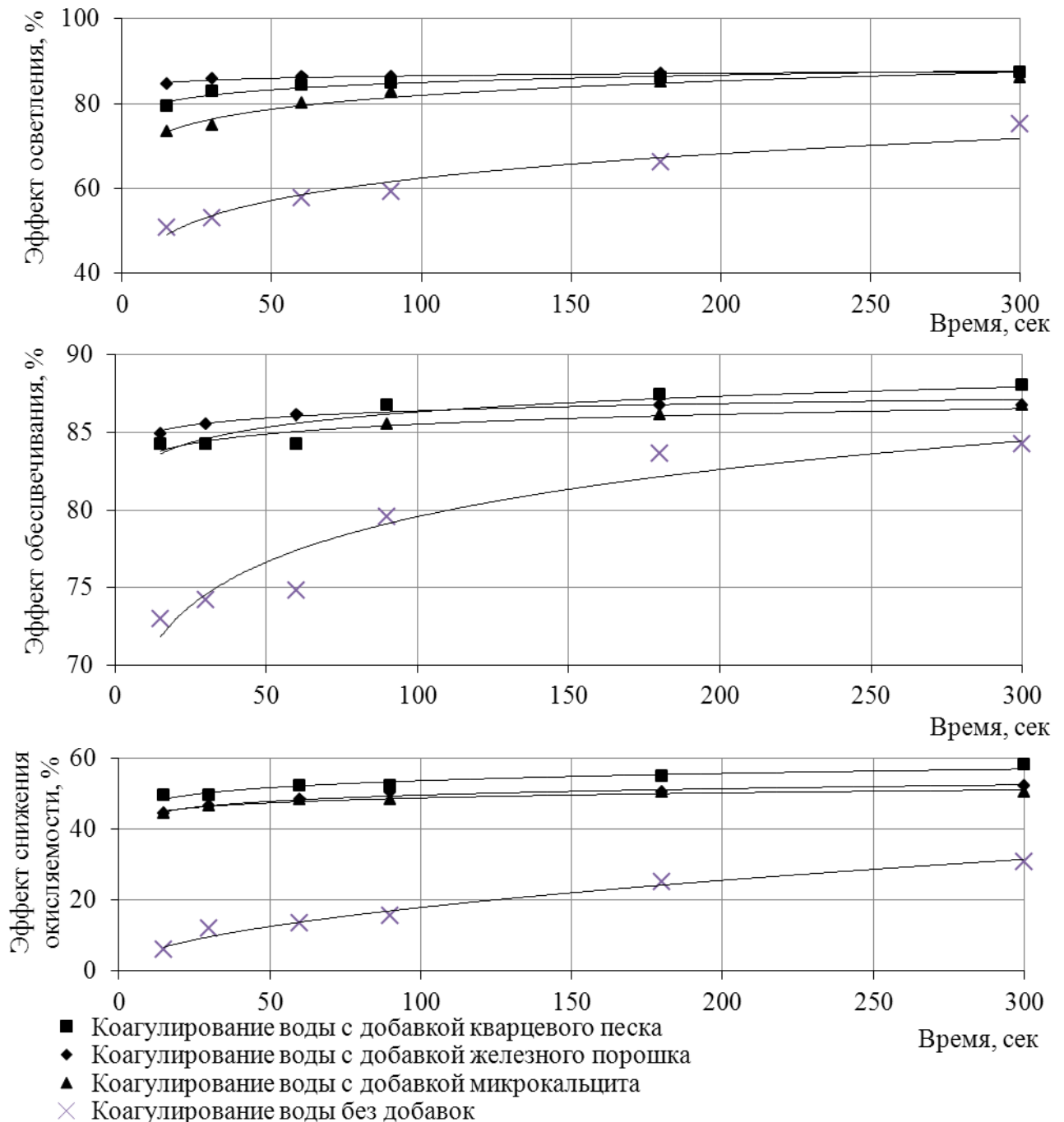


Рис. 4.9. Эффективность очистки воды с использованием добавок-утяжелителей при отстаивании (при $t_{отст} = 5$ мин)

В результате проведенных опытов определено влияние продолжительности отстаивания на эффективность очистки невской воды при коагуляции с добавлением утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка, микрокальцита) при оптимальной их дозе. Математическая обработка полученных результатов приведена в гл. 5.

4.6. Определение степени утяжеления коагулированной взвеси при применении добавок-утяжелителей

В данном разделе дается оценка степени увеличения скорости осаждения коагулированной взвеси при добавке разных видов добавок-утяжелителей. Для этого введен коэффициент утяжеления, который определялся для каждого вида испытанных добавок на основании экспериментальных исследований.

Природные воды, так же, как и воды, обработанные коагулянтами, содержат частицы разной формы, разного размера и плотности, которые имеют разную скорость осаждения (гидравлическую крупность) [20, 24, 72, 74, 76].

Скорость осаждения частиц определенного размера (крупности) в зависимости от плотности этих частиц определяется по формуле (4.2) [74, 75]:

$$u = \left(\frac{\pi \cdot d \cdot g \cdot (\rho - \rho_0)}{6 \cdot \psi \cdot \rho_0} \right)^{0.5} \quad (4.2)$$

где d и ρ – соответственно размер и плотность частицы; $\psi = 3 \cdot \pi / Re$ – коэффициент сопротивления их осаждению; ρ_0 – плотность воды.

Соотношение скоростей осаждения частиц разного размера и плотности, используя уравнение (4.2) можно выразить в виде (4.3):

$$\frac{u_2^2}{u_1^2} = \frac{d_2 \cdot \psi_1 \cdot (\rho_2 - \rho_0)}{d_1 \cdot \psi_2 \cdot (\rho_1 - \rho_0)} \quad (4.3)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность разных частиц.

Плотность взвешенных в воде частиц [65], а также добавок-утяжелителей приведена в табл. 4.9:

Плотность взвешенных в воде частиц [65], и плотность добавок-утяжелителей:

Вид частиц	Плотность ρ , г/см ³
Гидроокиси алюминия с веществами цветности	1,035
То же с флокулянт	1,060
Кварцевый песок	2,65
Кальцит (мрамор)	2,60
Магнетит	5,20
Железный порошок	7,80

При коагуляции примесей воды с введением утяжелителя образуется комплекс коагулированных частиц с утяжелителем, средневзвешенная плотность которого составит:

$$\rho_{\text{комплекс}} = \frac{C_{\text{вв}} \cdot \rho_1 + d_{\text{ут}} \cdot \rho_2}{C_{\text{вв}} + d_{\text{ут}}} \quad (4.4)$$

где $\rho_{\text{комплекс}}$ – плотность комплекса частиц с утяжелителем, г/см³; ρ_1 – плотность взвеси исходной воды при обработке гидроокисью алюминия с флокулянт; $d_{\text{ут}}$ и c_2 – доза и плотность добавки-утяжелителя.

Концентрации взвешенных веществ в поступающей на отстойники воде по СНиП 2.04.02-84 [103]:

$$C_{\text{вв}} = M_{\text{исх}} + K_{\text{к}} \cdot D_{\text{к}} + 0,25 \cdot \Pi_{\text{исх}} \quad (4.5)$$

где $M_{\text{исх}}$ – исходная мутность воды, мг/л; $K_{\text{к}}$ – коэффициент, для очищенного сернокислого алюминия – 0,5; $D_{\text{к}}$ – доза коагулянта по безводному продукту, мг/л; $\Pi_{\text{исх}}$ – исходная цветность воды, град.

При качестве исходной невской воды (в среднем): мутность – 4,3 мг/л, цветность – 32,5 град. и средней дозе коагулянта (очищенного сернокислого алюминия) – 7,5 мг/л, концентрация взвеси в поступающей на отстойники равняется $C_{\text{вв}} = 16,2$ мг/л.

Поскольку, при введении утяжелителя меняются и размеры хлопьев, и их плотность, то уравнение (4.3) можно представить в следующем виде:

$$\frac{u_2^2}{u_1^2} = \frac{K_{\text{п}}}{K_{\text{с}}} \cdot \frac{(\rho_{\text{ут}} - \rho_0)}{(\rho_{\text{ос}} - \rho_0)} \quad (4.6)$$

где: $\rho_{ос}$, $\rho_{ут}$ – плотность частиц, соответственно, осадка и комплекса осадок-утяжелитель, $K_p = \frac{d_2}{d_1}$ – коэффициент, характеризующий изменение размера частицы, $K_c = \frac{\psi_2}{\psi_1}$ – коэффициент, характеризующий изменение сопротивления ее осаждению при введении определенной добавки-утяжелителя.

Обозначим отношение $\frac{K_p}{K_c} = K_{ут}$ - коэффициент утяжеления, тогда уравнение

(4.6) преобразуется к виду:

$$\frac{u_2^2}{u_1^2} = K_{ут} \cdot \frac{(\rho_{ут} - \rho_0)}{(\rho_{ос} - \rho_0)} = K_{ут} \cdot \frac{\Delta\rho_{ут}}{\Delta\rho_{ос}} \quad (4.7)$$

При одинаковой высоте осаждения $h_1 = h_2$, коэффициент утяжеления $K_{ут}$ будет равен:

$$K_{ут} = \left(\frac{t_{ос}^2}{t_{ут}^2} \right) / \left(\frac{\Delta\rho_{ут}}{\Delta\rho_{ос}} \right) \quad (4.8)$$

Используя экспериментальные данные по кинетике выпадения осадка при коагуляции воды (гидроокись алюминия с веществами цветности и флокулянт) и этого же осадка с различными видами утяжелителей (п. 3.1.1 и п. 4.5), а также уравнения (4.4) и (4.6), и данные табл. 4.9, были получены значения коэффициента утяжеления $K_{ут}$ и соотношение скоростей осаждения при применении различных видов добавок-утяжелителей (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Значения коэффициента $K_{ут}$

Вид частиц	Плотность комплекса частиц с утяжелителем	Соотношение плотностей частиц взвеси с утяжелителем и без	Коэффициент утяжеления	Соотношение скоростей осаждения
	$\rho_{комп}, \text{г/см}^3$	$\frac{\Delta\rho_{ут}}{\Delta\rho_{ос}}$	$K_{ут}$	$u_{ос-ут}/u_{ос}$
Осадок при коагулировании воды (гидроокись алюминия с веществами цветности и флокулянт)	1,06	-	-	-
Осадок + кальцит (утяжелитель)	2,22	20,3	1,77	6,00

Осадок + кварцевый песок (утяжелитель)	2,26	21,0	1,79	6,13
Осадок + магнетит (утяжелитель)	4,19	53,2	7,52	20,00
Осадок + железный порошок (утяжелитель)	6,15	85,8	10,49	30,00

По результатам проведенных исследований, используя данные табл. 4.9 и табл. 4.10, получена зависимость коэффициента утяжеления $K_{ут}$ при коагуляции с разными добавками-утяжелителями от плотности этих добавок, которая приведена на рис. 4.10.

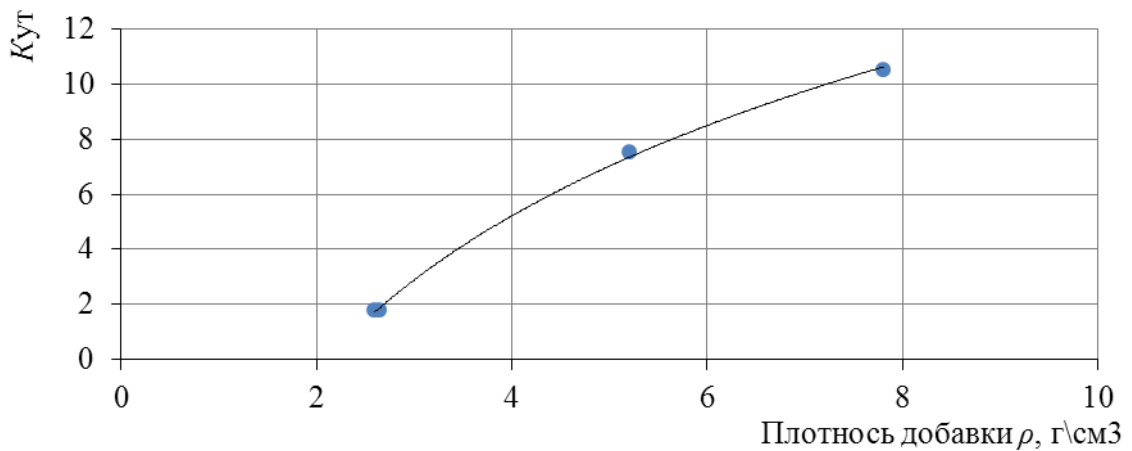


Рис. 4.10. Зависимость коэффициента утяжеления $K_{ут}$ при коагуляции с разными добавками-утяжелителями от их плотности

Так же, по данным табл. 4.10 получена зависимость между коэффициентом $K_{ут}$ и соотношением скоростей осаждения коагулированной взвеси с применением добавок-утяжелителей и без утяжелителей (рис. 4.11).

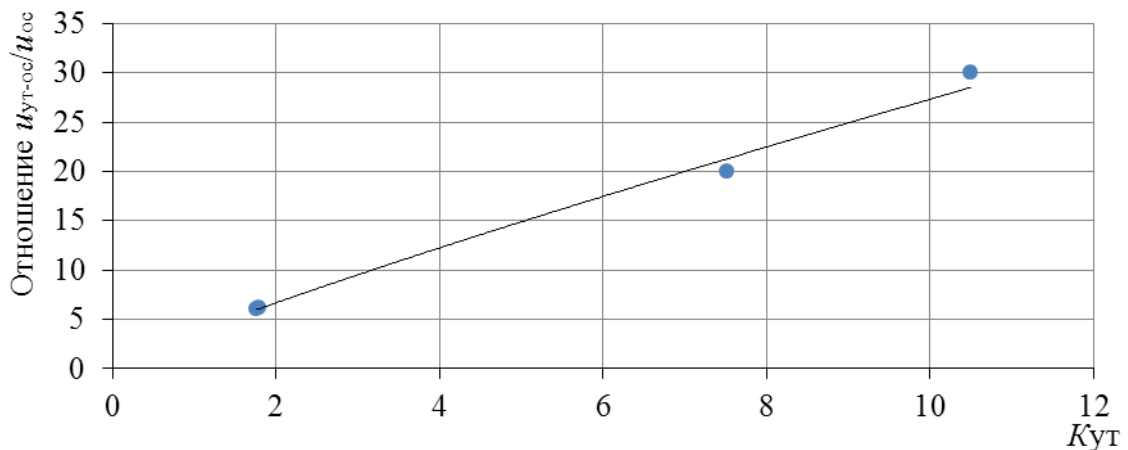


Рис. 4.11. Зависимость соотношения скоростей осаждения взвеси от коэффициента утяжеления $K_{ут}$ при коагуляции с разными видами добавок-утяжелителей

В результате проведенных исследований оценено ускорение осаждения коагулированной взвеси при введении добавок-утяжелителей с помощью коэффициентов утяжеления, значения которого определены для всех видов вводимых утяжелителей.

4.7. Результаты производственных испытаний процесса коагуляции невской воды с добавлением кварцевого песка

Производственные испытания были проведены на очистных сооружениях блока К-6 ЮВС г. Санкт-Петербург (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Комплекс очистных сооружений блок К-6 ЮВС

Испытания проводились на первой технологической ступени обработки воды блока К-6 ЮВС. Целью испытаний являлось определение эффективности применения добавки-утяжелителя – кварцевого песка для интенсификации процесса коагуляции при очистке невской воды в производственных условиях. Исследования проводились [55] в соответствии с утвержденным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» планом проведения апробации (приложение А).

Для опытов была выделена одна линия производственных сооружений блока К-6 ЮВС. Сравнительные исследования, проводились при одинаковых дозах коагулянта и флокулянта и соответствовали технологическим режимам работы блока К-6. Дозы реагентов и место их ввода не менялись и соответствовали технологическому режиму работы блока К-6.

Задачей исследований являлось изучение работы отстойника при обычном режиме (без добавления песка) и в режиме с добавкой песка, и сравнение эффективности его работы в этих режимах.

В исследованиях использовался кварцевый песок (гл. 2). Дозирование кварцевого песка (рис. 4.13) производилось на входе потока исходной воды в гидравлический прыжок, одновременно с подачей раствора коагулянта. Доза песка составляла 0,05 г/л (0,05 кг/м³) при продолжительности его дозирования в обрабатываемую воду в течение 30 мин при расходе воды $Q = 3584 \text{ м}^3/\text{ч}$.

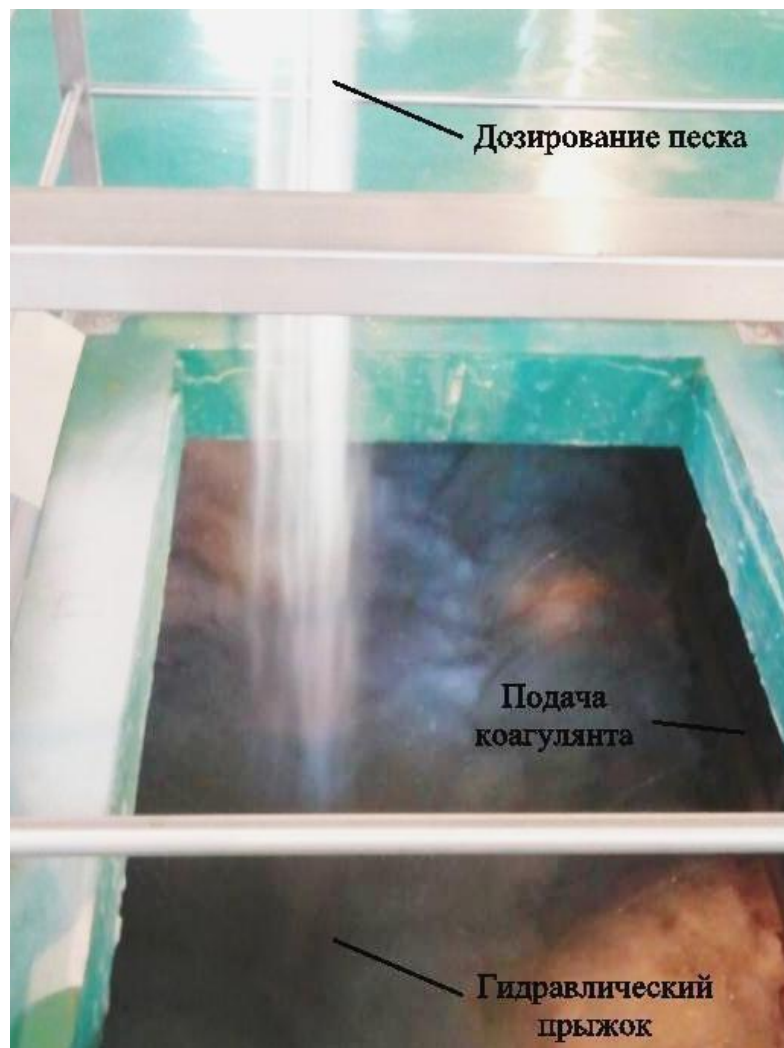


Рис. 4.13. Дозирование песка в гидравлический прыжок блока К-6 ЮВС

Производственные испытания с применением добавок-утяжелителей при коагуляции невской воды проводились по следующему плану:

1. Эффективность работы отстойников при обычном режиме их работы (при коагуляции воды без добавления песка) определялась по анализам качества исходной и осветленной воды. Пробы исходной воды (невская вода и очищенная промывная воды) отбирались из камеры с гидравлическим прыжком, пробы осветленной воды отбирались после отстойника с учетом времени прохода жидкости через все камеры (через 68 мин после отбора пробы исходной воды).

2. Работа отстойника в режиме коагуляции воды с добавлением кварцевого песка оценивалась по качеству осветленной воды после отстойника. Дополнительно отбирались пробы обработанной воды из 3-ей камеры флокуляции, где предполагалась возможность осветления воды.

3. Отбор проб производился в указанных точках в течение всего периода дозирования песка через каждые 3 мин с учетом времени прохода воды через сооружения.

На период проведения указанных опытов вводился следующий режим работы сооружений: перемешивание в камере скоростной мешалки, в 1-ой и 2-ой камерах флокуляции осуществляется при максимальной скорости вращения мешалок (скорости вращения мешалок 1-ой и 2-ой камер флокуляции были увеличены до 4 об/мин), ввод флокулянта производился только во 2-ую камеру флокуляции. В 3-ей камере флокуляции перемешивание не производилось (мешалка была отключена), предполагалось использовать данную камеру для отстаивания обрабатываемой воды. Отбор проб обработанной воды производится в 3-ей камере флокуляции и после отстойников.

Расчетное время пребывания воды в камерах (при расходе $Q = 3584 \text{ м}^3/\text{ч}$ и при заданных скоростях перемешивания в них) приведено в табл. 4.11.

На рис. 4.14 приведена схема сооружений блока К-6 с указанием точки ввода добавляемого песка, реагентов и точки отбора проб в сооружениях.

Таблица 4.11

**Время пребывания воды в сооружениях в период проведения производственных испытаний
при коагуляции невской воды с добавлением кварцевого песка**

Название сооружений		Время пребывания, мин
Камера скоростной мешалки		1,00
Камеры флокуляции	1-ая	4,25
	2-ая	8,50
	3-ая	18,70
Отстойник		35,00
Общее время пребывания воды в сооружениях		67,45

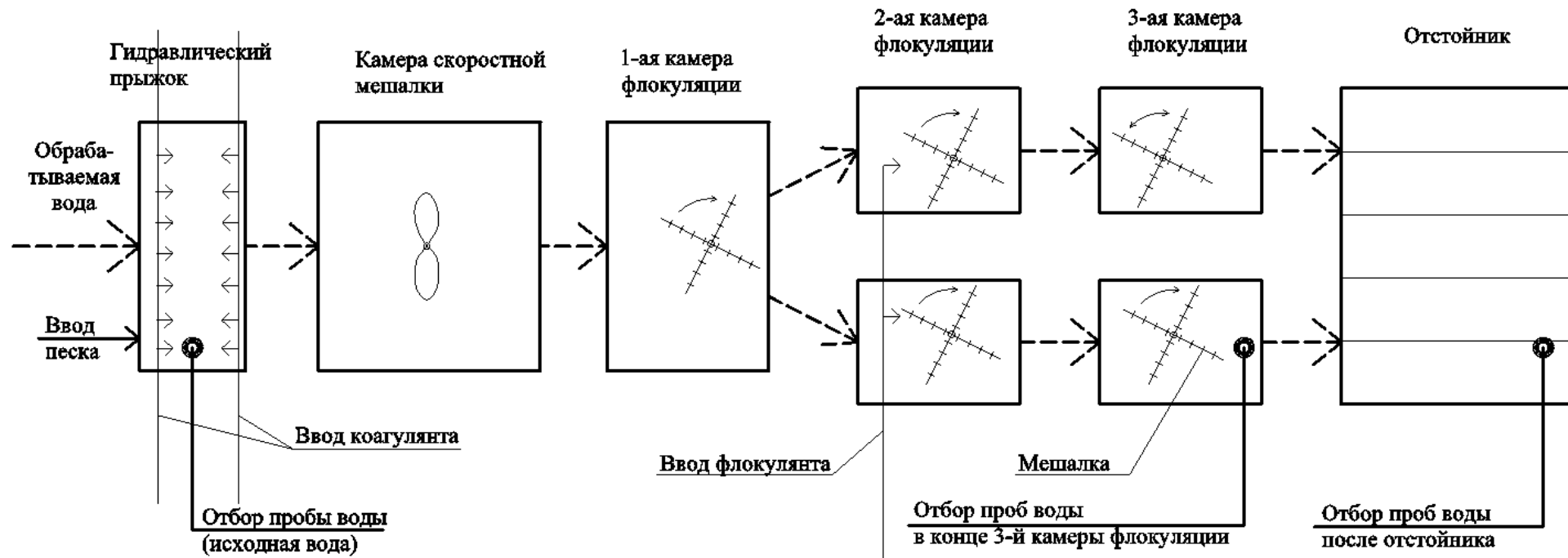


Рис. 4.14. Схема проведения производственных испытаний на комплексе очистных сооружений блока К-6 ЮВС

Качество обрабатываемой невской воды в период проведения производственных испытаний характеризовалась следующими данными: температура воды – 3,1 °С; мутность – 3,6 мг/л; цветность – 34 град; pH – 7,54 ед.; щелочность – 0,59 ммоль/л; окисляемость – 7,8 мг O_2 /л (табл. 4.10). Дозы реагентов при обработке исходной воды были определены пробным коагулированием: доза коагулянта по Al_2O_3 составила 7,4 мг/л, флокулянта *Flopat* 4290 – 0,23 мг/л. Эти дозы были приняты в производственном процессе в период проведения опыта.

Эффективность работы блока К-6 ЮВС при проведении производственных испытаний оценивалась по результатам анализов основных показателей качества воды после отстойника, выполненных совместно со специалистами станции и химико-бактериологической лаборатории ЮВС (ХБЛ ЮВС) [54].

Предполагаемого осветления воды в 3-ей камере флокуляции (после отключения в ней мешалки) не происходило ввиду следующих факторов:

- неблагоприятного гидравлического режима движения потока в этой камере (снизу-вверх),
- инерционного движения (вращение) жидкости после выключения мешалки,
- наличия плавающих хлопьев коагулянта (хлопьев образовавшихся при работе камеры флокуляции в обычном режиме) и попадании их в отбираемые пробы воды в период эксперимента.

В значительной мере на результаты опытов, сказывалось, отсутствие возможности создать на действующих сооружениях блока К-6 ЮВС оптимальные условия перемешивания воды с добавлением песка.

В табл. 4.12 приведены результаты опытов [54], при сравнении качества осветленной воды после отстойника без добавки утяжелителя (опыт № 1) и с добавкой в обрабатываемую воду кварцевого песка (опыт № 2).

На рис. 4.15 приведен сравнительный график [54], характеризующий качество воды после отстаивания при коагуляции воды без добавок-утяжелителей и с добавлением кварцевого песка.

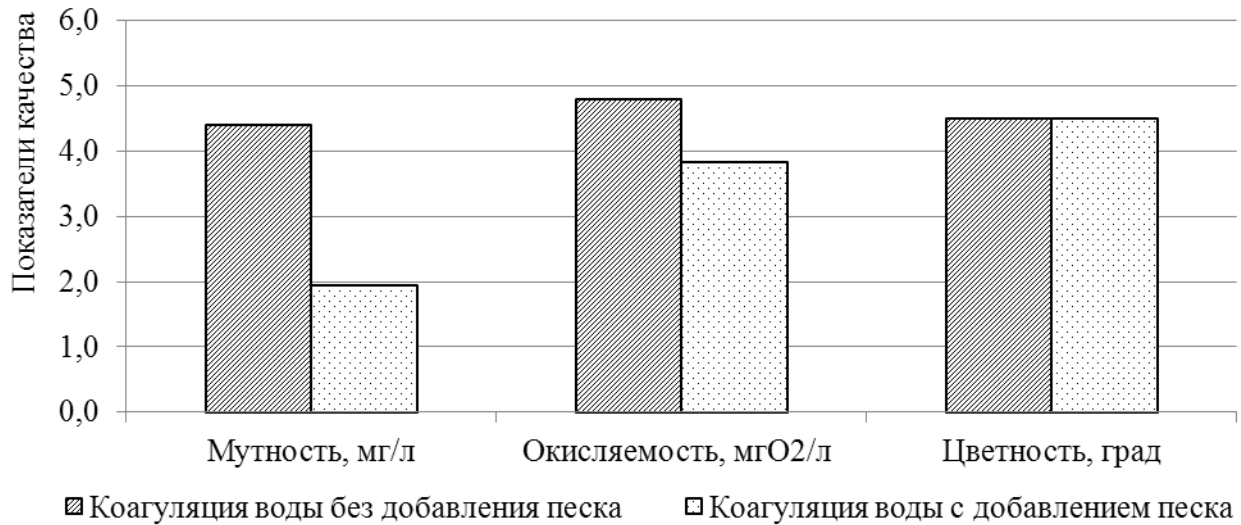


Рис. 4.15. Качества осветленной воды после отстаивания при обычной коагуляции и с добавкой кварцевого песка при коагуляции воды

В результате промышленных испытаний на производственных сооружениях блока К-6 ЮВС установлено, что при добавке кварцевого песка при коагуляции невской воды наблюдалось повышение качества очищенной воды после отстойника. Эффективность работы отстойников повысилась в среднем на 55,9 % по мутности, и на 20,0 % по показателю окисляемости. Это позволяет сделать вывод, о том, что при добавлении кварцевого песка достигается более высокое качество осветленной воды. Показатели pH и щелочности очищенной воды оставались одинаковыми.

Таким образом, добавление кварцевого песка при коагулировании невской воды на производственных сооружениях блока К-6 позволяет существенно улучшить качество очищенной воды после отстаивания.

Выводы по 4 главе

1. В результате анализа данных о работе первой ступени очистки производственных сооружений блока К-6 ЮВС при обработке невской воды определена зависимость доз реагентов от показателей качества исходной воды (мутности, цветности, окисляемости и температуры).

2. Определена эффективность очистки невской воды по различным показателям (мутность, цветность, окисляемость) при коагуляции с добавлением разных утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка, микрокальцита) при оптимальной их дозе в зависимости от продолжительности отстаивания.

3. Применение осадка в качестве добавки для интенсификации процесса коагулирования невской воды оказалось не целесообразным, т.к. приводило лишь к незначительному улучшению качества осветленной воды, но сопровождалось повышением содержания остаточного и растворенного алюминия в очищенной вод.

4. Применение смеси осадка с песком также оказалось не целесообразно, т.к. не приводило к улучшению процесса коагуляции и качества очищенной воды по сравнению с введением только песка.

5. Предложено оценить увеличение скорости осаждения коагулированной взвеси с разными видами добавок-утяжелителей с помощью коэффициента утяжеления. Определены значения этого коэффициента для испытанных видов добавок-утяжелителей.

6. В результате промышленных испытаний на производственных сооружениях блока К-6 ЮВС установлено, что при коагуляции невской воды с добавкой кварцевого песка качество очищенной воды после отстойника улучшалось по всем показателям. Эффективность работы отстойников повышалась в среднем на 55,9 % по мутности, и на 20,0 % по окисляемости.

ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВОК-УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ

На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по интенсификации процесса коагуляции путем применения различных добавок-утяжелителей при очистке маломутных цветных вод поверхностных источников; рекомендации по организации технологической схемы очистки с применением утяжелителей; рекомендации для расчета и проектирования сооружений по очистке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей; рекомендации по обработке осадка. Определены технико-экономические показатели процесса коагуляции с применением различных добавок-утяжелителей при очистке маломутных цветных вод поверхностных источников.

5.1. Рекомендуемые технологические схемы процесса коагуляции маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей

Проведенными исследованиями по очистке маломутных цветных вод с применением различных видов добавок-утяжелителей (гл. 3 и 4) установлена высокая эффективность этого способа интенсификации коагуляционной очистки воды. Данный способ приводит к значительному сокращению продолжительности отстаивания обработанной воды, сокращению требуемых объемов отстойных сооружений, улучшению качества очищенной воды и возможности снизить рабочие дозы коагулянта и флокулянта.

На основе результатов этих исследований предложены технологические схемы по обработке маломутных цветных природных вод с применением различных видов добавок-утяжелителей для получения воды питьевого качества, соответствующей СанПиН 2.1.4.1074-01 [96].

Схемы разделены в зависимости от требуемой степени очистки исходной воды, от продолжительности отстаивания и показателей ее качества:

1. При требуемой степени очистки исходной воды: по цветности – до 86,5 % и по окисляемости – до 53,8 % (гл. 3, 4, рис. 5.4) возможно применение при коагулировании воды в качестве добавки-утяжелителя кварцевого песка [120].

Технологическая схема обработки природных вод с применением в качестве добавок-утяжелителей кварцевого песка приведена на рис. 5.1 включает реагентную обработку природной воды коагулянтom и флокулянтom с введением добавки-утяжелителя, отстаивание, фильтрование и обеззараживание.

Основными узлами технологической схемы являются: реагентное хозяйство, включающее смеситель, куда подаются подщелачивающий реагент, коагулянт и утяжелитель, камеры флокуляции (с вводом флокулянта), далее полочные отстойники и фильтры. В отличие от технологии «*Actiflo*» кварцевый песок вводится в смеситель вместе с раствором коагулянта, а флокулянт подается в первую камеру флокуляции, эффективные параметры песка отечественного производства (фракции, доза), а также условия их перемешивания принимаются по результатам данных исследований (раздел 5.2). Обработанная вода затем проходит стадию отстаивания и фильтрования. Исходную воду рекомендуется предварительно обрабатывать озоном.

Камеры смешения (смеситель) и флокуляции оборудуются механическими мешалками, с помощью которых поддерживаются необходимые скорости перемешивания, зависящие от вида вводимых добавок-утяжелителей. В технологической схеме предусмотрена циркуляция утяжелителя с целью их повторного использования, для его отделения от осадка устраивается узел регенерации в виде гидроциклона.

Перед подачей очищенной воды в РЧВ она обрабатывается гипохлоритом натрия.

Технологические и конструктивные параметры скорых фильтров принимаются по СНиП 2.04.02-84 и СП 31.13330.2012 [105, 107].

2. При очистке исходной воды с низким щелочным резервом и необходимости снижения показателя цветности до 85,8 % и окисляемости до 48,9 % (рис. 5.4) рекомендуется схема с применением в качестве добавки-

утяжелителя микрокальцита. При этом одновременно обеспечивается поддержание щелочного резерва очищенной воды.

Технологическая схема обработки природных вод с низким щелочным резервом с применением в качестве добавки-утяжелителя микрокальцита приведена на рис. 5.2.

Микрокальцит вводится в исходную воду вместе с раствором коагулянта в смеситель, раствор флокулянта подается в первую камеру флокуляции. Окончательное укрупнение хлопьев коагулянта утяжеленных вводимыми добавками происходит во второй камере флокуляции. После чего вода поступает в полочные отстойники и на скорые фильтры. Остальные узлы этой схемы те же, что и в предыдущей схеме.

3. При необходимости снижения показателя цветности исходной воды до 86,9 % и окисляемости до 51,0 %, а также при необходимости уменьшения продолжительности отстаивания обрабатываемой воды и, соответственно, объемов отстойных сооружений в 3-4 раза по сравнению с предыдущими схемами, рекомендуется применение при коагулировании воды в качестве добавки-утяжелителя железного порошка [120] (см. рис. 5.4).

Технологическая схема обработки природных вод с применением в качестве добавки железного порошка приведена на рис. 5.3. Ввод в обрабатываемую воду утяжелителя (железного порошка) производится вместе с коагулянтом в смеситель, раствора флокулянта подается в 1-ю камеру флокуляции. Остальные узлы обработки воды те же, что и в первой схеме.

Для предотвращения выноса частиц порошка с осветленной водой, на выходе из отстойника вода проходит магнитный сепаратор. Магнитный сепаратор может быть также установлен вместо гидроциклона в узле регенерации утяжелителя (железного порошка), для его отделения от осадка.

Применение технологической схемы с использованием железного порошка позволяет значительно уменьшить продолжительность отстаивания и объем отстойных сооружений, чем в других схемах, но является более сложной, по сравнению с предыдущими схемами, из-за устройства магнитного сепаратора.

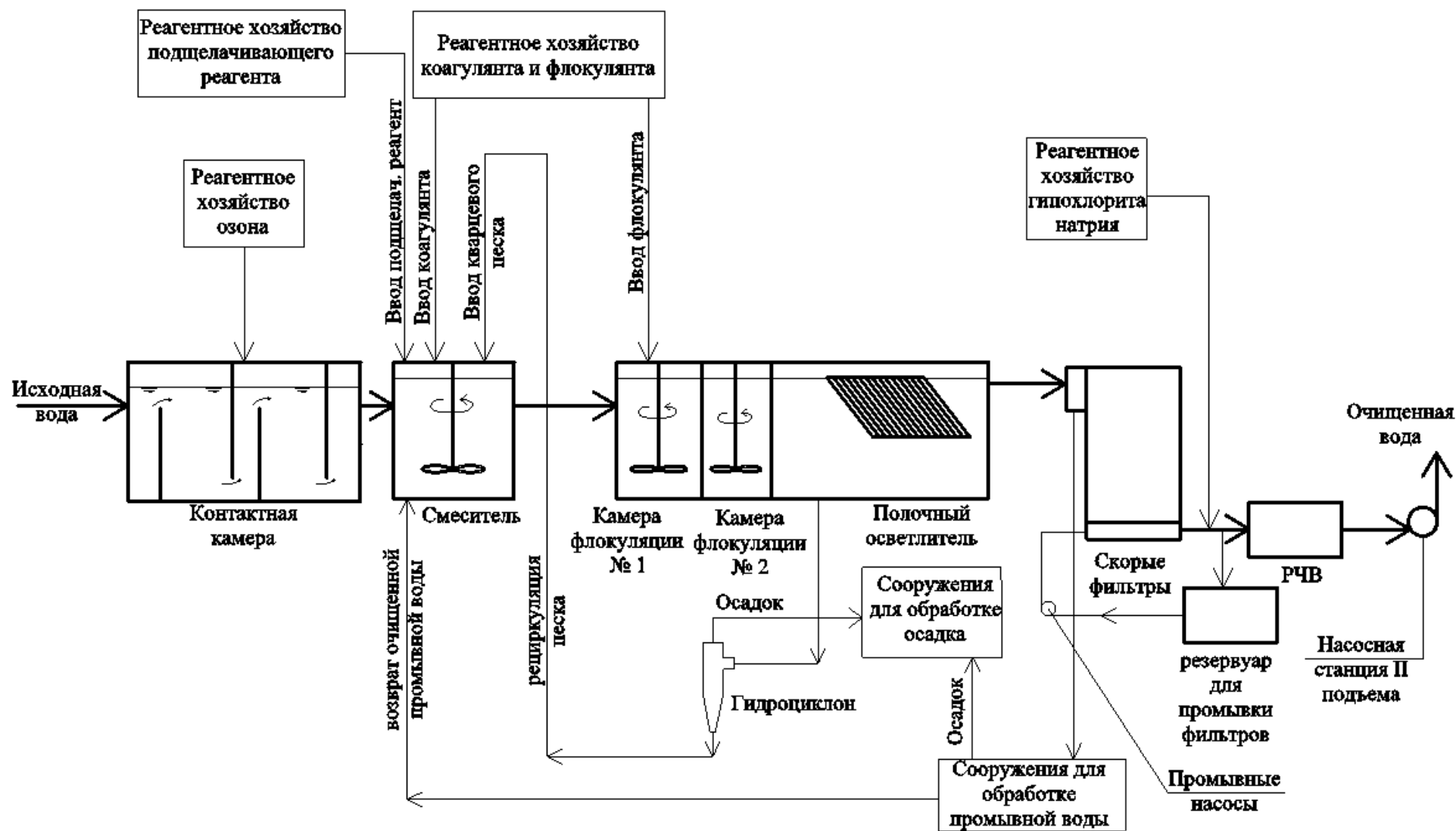


Рис. 5.1. Технологическая схема по обработке цветных вод с применением кварцевого песка

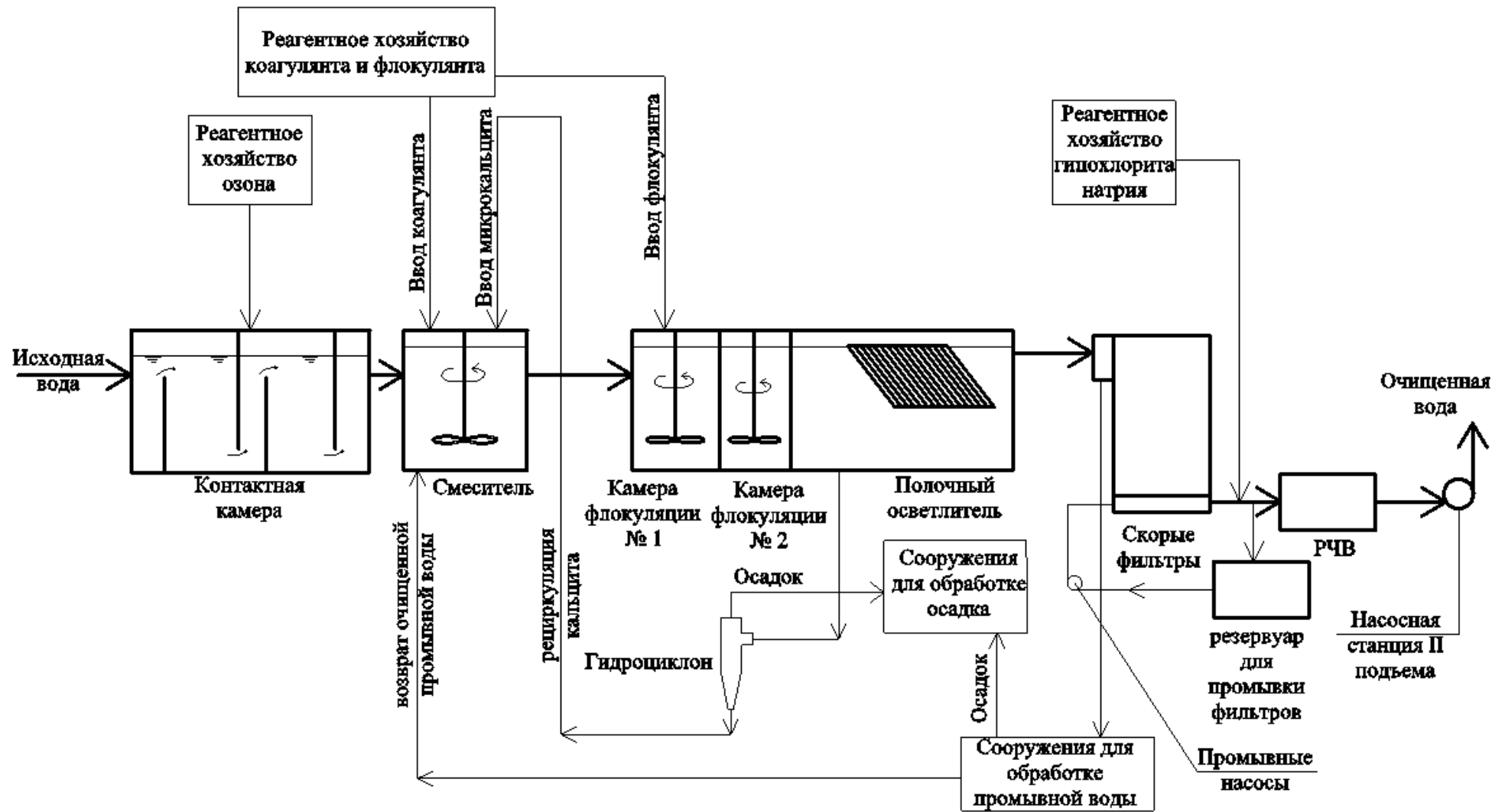


Рис. 5.2. Технологическая схема очистки воды с применением микрокальцита

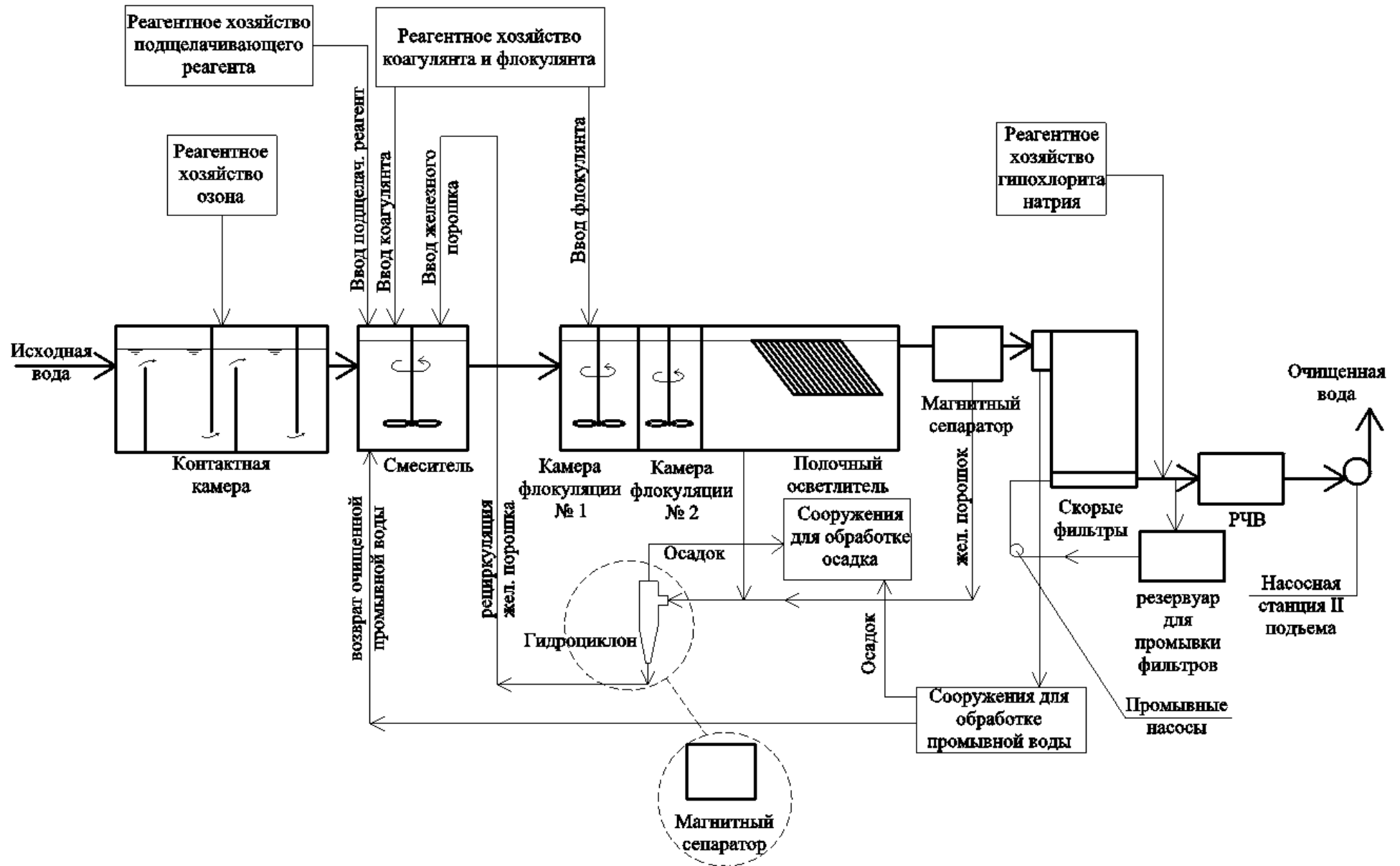


Рис. 5.3. Технологическая схема по обработке цветных вод с применением железного порошка

4. При необходимости более высокого снижения эффекта очистки по цветности и окисляемости технологические схемы должны быть дополнены ступенью фильтрования через активированный уголь, либо устройство второго слоя ГАУ на скором фильтре с песчаной загрузкой.

5.2. Рекомендации для расчета и проектирования сооружений по обработке маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей

В данном разделе представлены рекомендации по расчету и проектированию сооружений по обработке воды с введением при коагуляции добавок-утяжелителей, и включает рекомендуемые технологические параметры проведения данного процесса, выявленные в результате проведенных комплексных исследований с применением разных видов отечественных добавок-утяжелителей по обработке маломутных цветных вод.

Дозы реагентов (коагулянта и флокулянта) при коагулировании маломутных цветных вод могут быть определены по формуле (4.1). Введение при коагуляции добавок-утяжелителей способствует снижению дозы коагулянта (сернокислого алюминия по Al_2O_3) на 10 % или флокулянта (*Flopat FO-4290PWG*) на 20 %, с учетом этого формулы для определения оптимальной дозы реагентов в этом случае имеют следующий вид:

доза коагулянта

$$D_k = 0,9 \cdot A \cdot T_v^{-0,043} \cdot M_{исх}^{-0,034} \cdot C_{исх}^{0,34} \cdot O_{кисх}^{0,504} \quad (5.1)$$

доза флокулянта

$$D_f = 0,8 \cdot A \cdot T_v^{-0,093} \cdot M_{исх}^{-0,091} \cdot C_{исх}^{0,77} \cdot O_{кисх}^{1,114} \quad (5.2)$$

где D_k , D_f – дозы, соответственно, коагулянта и флокулянта, мг/л; A – эмпирический коэффициент (табл. 4.3); T_v – температура воды, °С; $M_{исх}$ – исходная мутность воды, мг/л; $C_{исх}$ – исходная цветность воды, град.; $O_{кисх}$ – перманганатная окисляемость исходной воды, мг/л.

Для использования в качестве добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта рекомендуются отечественные материалы (гл. 2). Рекомендуемые параметры добавок приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Рекомендуемые параметры используемых добавок-утяжелителей
при коагуляции маломутных цветных вод**

Утяжелители	Доза, г/л	Размер фракции, мм
Кварцевый песок	0,05	0,05-0,14
Микрокальцит	0,05	0,10
Железный порошок	0,05	до 0,05
Магнетит	0,05	до 0,05

По результатам проведенных исследований (п. 4.5) получены зависимости эффективности снижения мутности, цветности и перманганатной окисляемости при коагуляции воды с введением разных видов добавок-утяжелителей (с оптимальной их дозой) от параметра h/t (рис. 5.4) [120], которые получены при $h = 50$ мм и могут быть использованы для расчета тонкослойных отстойников с этой рабочей глубиной отстаивания. При другой высоте слоя отстаивания (от 50 до 200 мм) можно воспользоваться уравнением (1.11) и данными о коэффициентах агломерации n при применении добавок-утяжелителей (табл. 3.1.1).

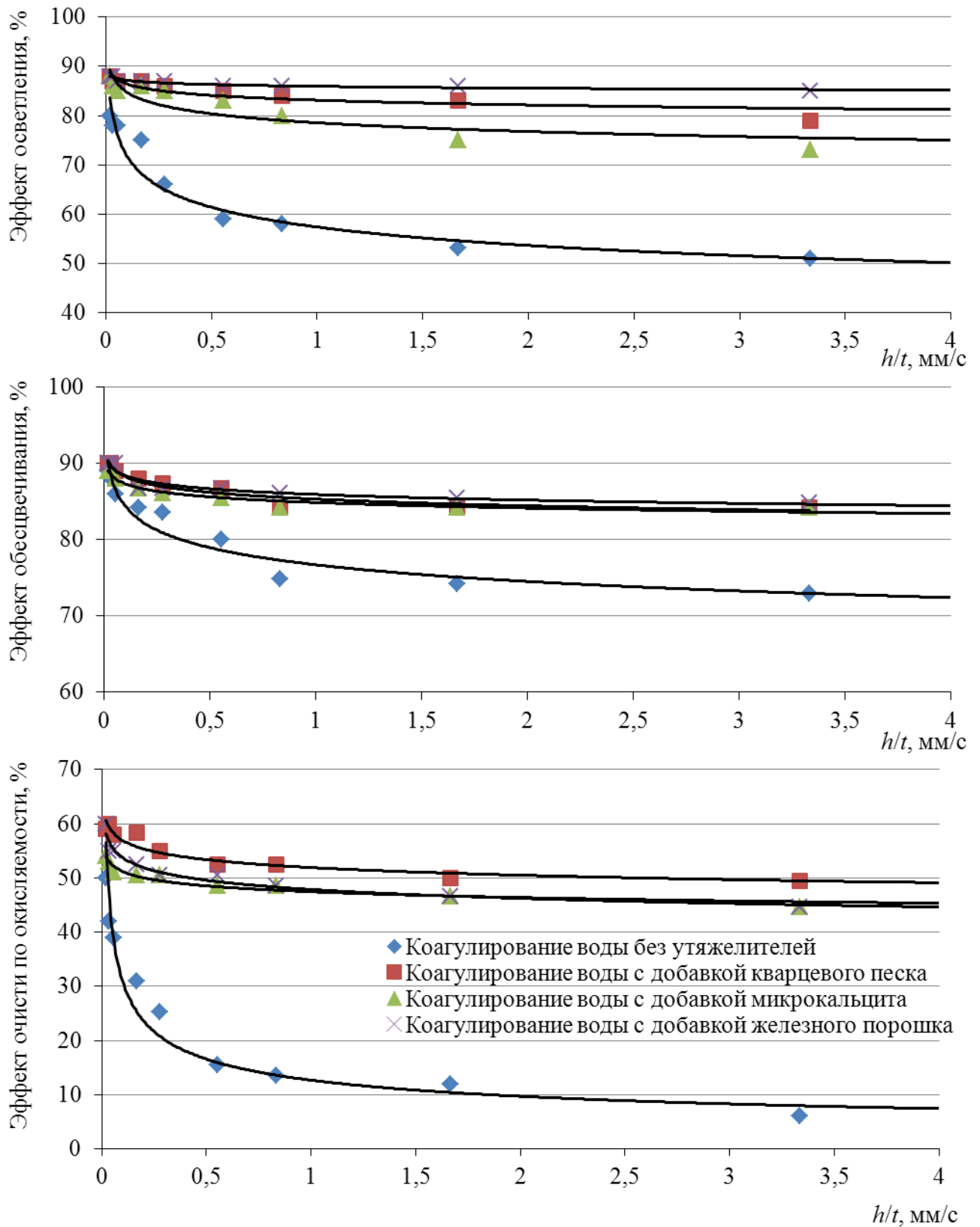


Рис. 5.4. Зависимость эффективности очистки коагулированной воды с введением разных добавок и без них от параметра h/t для тонкослойных отстойников

Статистическая обработка данных рис. 5.4 позволила получить корреляционные уравнения зависимостей эффективности очистки воды от

продолжительности отстаивания для различных видов утяжелителей, которые приведены ниже.

При использовании в качестве утяжелителя хлопьев коагулянта кварцевого песка эффективности снижения мутности (\mathcal{E}_m), цветности (\mathcal{E}_c) и перманганатной окисляемости ($\mathcal{E}_{\text{перм.окисл.}}$) выражаются следующими зависимостями (5.3)-(5.5) (в %):

- эффект очистки по мутности

$$\mathcal{E}_m = 83,12 \cdot (h/t)^{-0,017} \quad (5.3)$$

при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,81$;

- эффект очистки по цветности

$$\mathcal{E}_c = 85,34 \cdot (h/t)^{-0,015} \quad (5.4)$$

при $R^2 = 0,93$;

- эффект очистки по окисляемости

$$\mathcal{E}_{\text{перм.окисл}} = 51,91 \cdot (h/t)^{-0,04} \quad (5.5)$$

при $R^2 = 0,93$;

При коагулировании воды с использованием в качестве утяжелителя железного порошка, эти зависимости выражаются уравнениями (5.6)-(5.8):

- эффект очистки по мутности

$$\mathcal{E}_m = 85,93 \cdot (h/t)^{-0,006} \quad (5.6)$$

при $R^2 = 0,91$;

- эффект очистки по цветности

$$\mathcal{E}_c = 85,95 \cdot (h/t)^{-0,012} \quad (5.7)$$

при $R^2 = 0,92$;

- эффект очистки по окисляемости

$$\mathcal{E}_{\text{перм.окисл}} = 47,86 \cdot (h/t)^{-0,05} \quad (5.8)$$

при $R^2 = 0,96$.

При коагулирование воды с использованием в качестве утяжелителя микрокальцита, зависимости имеют вид (5.9)-(5.11):

- эффект очистки по мутности

$$\mathcal{E}_m = 78,54 \cdot (h/t)^{-0,033} \quad (5.9)$$

при $R^2 = 0,81$;

- эффект очистки по цветности

$$\mathcal{E}_c = 84,89 \cdot (h/t)^{-0,012} \quad (5.10)$$

при $R^2 = 0,96$;

- эффект очистки по окисляемости

$$\mathcal{E}_{\text{перм.окисл}} = 47,44 \cdot (h/t)^{-0,033} \quad (5.11)$$

при $R^2 = 0,94$.

Для сравнения, эффективность очистки воды после отстаивания при ее коагулировании без использования утяжелителей может быть определена по следующим корреляционным уравнениям:

- эффект очистки по мутности

$$\mathcal{E}_m = 57,36 \cdot (h/t)^{-0,098} \quad (5.12)$$

при $R^2 = 0,95$;

- эффект очистки по цветности

$$\mathcal{E}_c = 76,73 \cdot (h/t)^{-0,042} \quad (5.13)$$

при $R^2 = 0,93$;

- эффект очистки по окисляемости

$$\mathcal{E}_{\text{перм.окисл}} = 12,67 \cdot (h/t)^{-0,387} \quad (5.14)$$

при $R^2 = 0,95$.

По уравнениям (5.3)-(5.11), задаваясь требуемой эффективностью предварительной очистки исходной воды, и выбрав вид добавки-утяжелителя, определяется величина h_0/t , которую можно использовать для расчета тонкослойных отстойников (при $h_0 = 50$ мм) с учетом рекомендаций СП 31.13330.2012 [105].

При другой задаваемой величине h , скорость осаждения взвеси определяется с учетом уравнения (1.11) и данных табл. 3.1.1.

В результате проведенных исследований (п. 4.6) определена степень увеличения скорости осаждения u коагулированной взвеси при ведении разных

видов добавок-утяжелителей, которая характеризуется коэффициентом утяжеления. Коэффициент утяжеления определяется для каждого вида вводимых добавок по следующему аналитическому выражению:

$$K_{\text{ут}} = 8,07 \cdot \ln(\rho) - 5,97 \quad (5.15)$$

при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$

где $K_{\text{ут}}$ – коэффициент утяжеления, ρ – плотность добавки-утяжелителя, г/см³.

Аналитическое выражение зависимости соотношения скоростей осаждения коагулированной взвеси при ведении разных видов добавок-утяжелителей по отношению к скорости осаждения взвеси без добавок от коэффициента утяжеления имеет вид:

$$\frac{u_{\text{ос-ут}}}{u_{\text{ос}}} = 3,64 \cdot K_{\text{ут}}^{0,88} \quad (5.16)$$

при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$

где $\frac{u_{\text{ут-ос}}}{u_{\text{ос}}}$ – отношение скорости осаждения коагулированной взвеси с применением испытанных видов добавок-утяжелителей к скорости осаждения без утяжелителей, $K_{\text{ут}}$ – коэффициент утяжеления.

5.3. Рекомендации по обработке осадка и промывной воды

В технологических схемах предусмотрена циркуляция добавок-утяжелителей с целью их повторного использования. Для отделения добавок-утяжелителей от осадка устраивается узел регенерации в виде гидроциклона или сепаратора.

Кроме того в технологических схемах предусматривается обработка промывных вод и осадка на основных сооружениях: резервуары, отстойники, сгустители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка (п. 6.199 и приложение 9 СНиП 2.04.02-84 [103]).

Промывные воды фильтровальных сооружений на станциях подвергаются очистке согласно требованиям СНиП 2.04.02-84 [103]. После очистки осветленная вода подается перед смесителями или в смесители.

Осадок из отстойных сооружений направляется на узел отделения добавок-утяжелителей, затем на узел обработки и обезвоживания осадка. [103]. Влажность осадка из отстойников составляет примерно 99,0 %. При обработке осадка рекомендуется [103] применять сгустители с медленным механическим перемешиванием. Влажность осадка после сгустителя – 97,7-98,2 %. Сгущенный осадок направляется на сооружения механического обезвоживания с помощью насосов плунжерного типа.

Отделение добавок утяжелителя от осадка осуществляется под действием центробежных сил в гидроциклонах. Расчет и проектирование гидроциклонов производится в соответствии с [57, 76, 90, 98].

Основным параметром [57], характеризующим центробежные аппараты, является фактор разделения F_r – критерий Фруда, который показывает соотношение действующих на частицу центробежных и гравитационных сил и определяется по формуле (5.17):

$$F_r = a_{ц} / g = \omega^2 \cdot r / g \quad (5.17)$$

где $a_{ц}$ – ускорение движения в центробежном поле, м/с²; ω – окружная скорость вращения воды, м/с; r – радиус вращения, м; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Значение F_r зависит от диаметра аппарата и скорости движения в нем воды.

Центробежная сила определяется по формуле (5.18) [76]:

$$P = \frac{\pi d^2}{6} \cdot (\rho_t - \rho_{ж}) \cdot \frac{v^3}{R} \quad (5.18)$$

где d – эквивалентный диаметр частиц взвеси, см; ρ_t и $\rho_{ж}$ – плотность твердой и жидкой фазы в воде, г/см³; v – скорости движения воды на входе в аппарат, см/с; R – расстояние от центра аппарата до оси питающего патрубка, см.

В гидроциклоне задерживаются частицы с гидравлической крупностью [57], определяемой по формуле (5.19) [76, 98]:

$$u_0 = 15,33 \cdot \frac{K_T}{a} \cdot \frac{D^3}{Q_{\text{пит}}} \quad (5.19)$$

где D – диаметр гидроциклона, м; $Q_{\text{пит}}$ – производительность гидроциклона, м³/с; K_T – коэффициент учитывающий влияние концентрации взвеси и турбулентность потока; для агрегативно-устойчивой суспензии небольших концентраций $K_T = 0,04$; a – коэффициент, учитывающий затухание скорости в гидроциклоне, равный 0,45.

Производительность гидроциклона и расход отводимого шлама, рассчитывается по [57], в зависимости от требуемых параметров гидроциклона.

При транспортировании задержанных добавок-утяжелителей по трубопроводам, при их концентрации 3-5 г/л, самоочищающие скорости принимаются на основании результатов исследований по взмучиванию добавок-утяжелителей (п. 3.1.4). Скорости взмучивания и транспортирования по трубопроводам добавок-утяжелителей приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Скорости взмучивания и транспортирования добавок-утяжелителей

Вид утяжелителя	Размер фракций, мм	Скорость вращения мешалки при 100 % взмучивании утяжелителей, об/мин	Средняя линейная скорость перемешивания в установке, м/с	Скорость транспортирования по трубопроводам, м/с
кварцевый песок	0,05-0,14	500	1,57	1,6
микрокальцит	0,05-0,14	500	1,57	1,6
магнетит	до 0,05	650	1,70	1,8
железный порошок	до 0,05	750	1,96	2,0

5.4. Техничко-экономические показатели

Оценка экономической эффективности применения способа интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением добавок-утяжелителей производилась по следующим критериям:

1. Уменьшение площади очистных сооружений (сокращение объемов камер смесителя, камер флокуляции, отстойников), и как следствие экономия строительных затрат.

2. Экономия расхода коагулянта и флокулянта.

3. Повышение производительности водоочистных сооружений (сокращение времени перемешивания в смесителе и в камерах флокуляции, уменьшение времени нахождения воды в отстойниках).

Расчет технико-экономических показателей произведен при сравнении данного способа интенсификации коагуляционной очистки природных цветных вод с новой, наиболее совершенной технологией обработки таких вод, принятой на блоке К-6 ЮВС СПб. Производительность водоочистных сооружений на этом блоке составляет 350 000 м³/сут (14 583 м³/час).

Для сравнения рассмотрено 4 варианта обработки исходной воды (1-ая ступень).

1 вариант. Коагуляционная обработка исходной воды производится без добавок утяжелителя. В состав 1-ой ступени обработки входят камеры смешения и флокуляции, тонкослойные отстойники, реагентное хозяйство.

Общий объем камер смешения и хлопьеобразования составляет 8 456 м³ (при продолжительности пребывания в них обрабатываемой воды – 30,7 мин).

На блоке К-6 ЮВС применяются тонкослойные отстойники – 4 шт. (п. 4.1). Продолжительность пребывания обрабатываемой воды в тонкослойных отстойниках составляет 33,1 мин.

Общая строительная стоимость тонкослойных отстойников (с камерами смешения и флокуляции) блока К-6 ЮВС составляет 478,36 млн. руб. (в том числе 272,86 млн. руб. стоимость оборудования) (в ценах 2014 г.).

2 вариант. Коагуляционная обработка исходной воды производится с добавлением кварцевого песка. В состав 1-ой ступени обработки входят камеры смешения и флокуляции, тонкослойные отстойники, реагентное хозяйство.

Объем камер смешения и хлопьеобразования составляет 1 458 м³ (при продолжительности пребывания в них обрабатываемой воды – 6,0 мин).

Потребный объем тонкослойных отстойников составит 1337 м³, количество отстойников 1 шт., Продолжительность пребывания обрабатываемой воды в тонкослойных отстойниках составит 5,5 мин.

3 вариант. Очистка исходной воды осуществляется с добавлением железного порошка. В состав 1-ой ступени обработки входят такие же сооружения, что и во втором варианте.

Камеры смешения и хлопьеобразования выполнены в виде прямоугольных резервуаров, из сборных железобетонных конструкций. Объем камер смешения и хлопьеобразования составляет 1 458 м³ (при продолжительности пребывания в них обрабатываемой воды – 6 мин).

Потребный объем тонкослойных отстойников составит 802 м³, количество отстойников 1 шт. Продолжительность пребывания обрабатываемой воды в тонкослойных отстойниках составит 3,3 мин.

4 вариант. Очистка воды осуществляется с добавлением микрокальцита. Объемы сооружений 1-ой ступени очистки такие же, как во втором варианте.

Технико-экономические показатели рассмотренных вариантов приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Технико-экономические показатели рассмотренных вариантов

№ пп	Показатель	Значение показателя по вариантам			
		1 вариант (без применения добавок)	2 вариант (применение в качестве утяжелителя кварцевого песка)	3 вариант (применение в качестве утяжелителя железного порошка)	4 вариант (применение в качестве утяжелителя кальцита)
1.	Производительность станции, тыс. м ³ /сут.	350			

2.	Общая строительная стоимость 1-ой ступени очистки (в ценах 2014)		478 360 тыс. руб. (в том числе стоимость оборудования 272 860 тыс. руб.)	79 700 тыс. руб. (в том числе стоимость оборудования 45 477 тыс. руб.)	47 836 тыс. руб. (в том числе стоимость оборудования 27 286 тыс. руб.)	79 700 тыс. руб. (в том числе стоимость оборудования 45 477 тыс. руб.)
3.	Стоимость коагулянта		25 064 тыс. руб./год	22 580 тыс. руб./год	22 580 тыс. руб./год	22 580 тыс. руб./год
4.	Стоимость добавок-утяжелителей		-	1,08 тыс. руб./год	50,12 тыс. руб./год	3,32 тыс. руб./год
5.	Стоимость электроэнергии на перемешивание при коагуляции		321,46 тыс. руб./год	64,73 тыс. руб./год	75,08 тыс. руб./год	64,73 тыс. руб./год
6.	Экономическая эффективность по сравнению с 1 вариантом:	а) снижение стоимости строительно-монтажных, тыс. руб.	-	398 660	430 524	398 660
		б) снижение стоимости энергозатрат, тыс. руб./год	-	256,73	246,38	256,73
		в) снижение стоимости реагентов - (включая добавки), тыс. руб./год	-	2483	2434	2481

1 вариант (без применения утяжелителей). Камеры смешения и хлопьеобразования (флокуляции) оборудуются механическими мешалками, мощность которых принята в соответствии с оборудованием блока К-6 ЮВС $6,77 \text{ кВт} + 2,45 \text{ кВт} + 1,35 \text{ кВт} = 10,57 \text{ кВт}$.

2 и 4 вариант (применение в качестве утяжелителя песка и микрокальцита). Камеры смешения и хлопьеобразования (флокуляции) оборудуются механическими мешалками, мощность которых рассчитана пропорционально объему сооружений и составляет $1,36 \text{ кВт} + 0,49 \text{ кВт} + 0,28 \text{ кВт} = 2,13 \text{ кВт}$.

3 вариант (применение в качестве утяжелителя железного порошка).

Камеры смешения и хлопьеобразования (флокуляции) оборудуются механическими мешалками, мощность которых рассчитана пропорционально объему сооружений и составляет $1,58 \text{ кВт} + 0,57 \text{ кВт} + 0,32 \text{ кВт} = 2,47 \text{ кВт}$.

Стоимость электроэнергии во всех вариантах принята равной 3,47 руб. кВт/ч [83].

Средняя доза коагулянта сульфата алюминия (водный раствор) за 2012-2013 гг. на Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга (п. 4.2) на очистку воды составила 7,1 мг/л по активной части (46,4 мг/л по товарному продукту). Стоимость коагулянта – 4,0 руб./кг [88].

Среднегодовая доза флокулянта (п. 4.2) *Flopat FO-4290PWG* на очистку воды составила 0,2 мг/л, при его стоимости 200,0 руб./кг [85].

Доза добавок-утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка, микрокальцита) составляла 0,05 г/л (0,05 кг/м³).

Продолжительность цикла оборота добавок-утяжелителей при коагулировании воды принята 1 час (3 мин в камере смешения, 3 мин – в камере флокуляции, 5-10 мин при отстаивании воды в отстойнике, остальное время – хранение осадка в отстойнике, узле регенерации, трубопроводах и дозаторе).

Стоимость кварцевого песка составила 1,4 руб./кг [86], железного порошка 65,0 руб./кг [82], микрокальцита – 4,3 руб./кг [87], магнетита 35,0 руб./кг [89].

Годовое снижение доз коагулянта составит на 10 % или флокулянта на 20 % (от оптимальных их доз), т. к. в денежном пересчете экономия стоимости реагентов, больше по коагулянту, поэтому экономический расчет произведен по данному параметру.

Потери утяжелителей при регенерации составляют 10 % в год.

Таким образом, применение разработанного способа интенсификации обработки маломутных цветных вод для станции производительностью 350 тыс. м³/сут, по сравнению с традиционной обработкой воды, позволяет

сократить как стоимость строительно-монтажных работ, так и стоимость эксплуатационных затрат:

- **по 2-му и 4-му вариантам** – стоимость строительно-монтажных работ по 1-ой ступени сокращается на 398,7 млн. руб. меньше (или в 6,0 раз). Эксплуатационные расходы сокращаются на 2,74 млн. руб. в год.

- **по 3-му варианту** – стоимость строительно-монтажных работ по 1-ой ступени сокращается на 430,5 млн. руб. меньше (или в 10 раз). Эксплуатационные расходы сокращаются на 2,68 млн. руб. в год.

Следует отметить, что одновременно с добавлением при коагуляции утяжелителей увеличивается эффективность очистки исходной воды, что позволит улучшить работу 2-ой ступени очистки, увеличить производительность скорых фильтров.

Выводы по 5 главе

1. В результате проведенных исследований по интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением испытанных видов добавок-утяжелителей предложены технологические схемы, которые выбираются в зависимости от требуемой степени очистки исходной воды, по показателям цветности и окисляемости. При требуемой степени снижения цветности исходной воды до 86,5 %, и окисляемости – до 53,8 % рекомендуется применять схему с добавкой при коагуляции кварцевого песка, а в случае низкой щелочности воды – микрокальцита. При требуемой степени снижения цветности исходной воды до 86,9 %, а окисляемости до 51,0 %, а также при необходимости уменьшения продолжительности отстаивания обрабатываемой воды и, соответственно, объемов отстойных сооружений в 3-4 раза по сравнению с предыдущими схемами, рекомендуется применять схему с применением в качестве добавки железного порошка. При необходимости достижения более высокого эффекта очистки воды по этим показателям требуется дополнить схемы второй ступенью фильтрования на АУ.

2. Получены экспериментальные зависимости по определению эффективных доз реагентов при коагуляции с добавками-утяжелителями с учетом основных показателей качества исходной воды (температуры, мутности, цветности и окисляемости).

3. Получены расчетные уравнения по кинетике осветления маломутных цветных природных вод (по основным качественным показателям) при их коагуляции с добавлением разных видов добавок-утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка и микрокальцита) отечественного производства.

4. Предложены аналитические зависимости для определения величин коэффициента утяжеления для испытанных видов добавок-утяжелителей, а также для определения степени повышения скоростей осаждения коагулированной взвеси при введении разных видов добавок-утяжелителей.

5. Экономическая эффективность применения способа интенсификации коагуляционной обработки маломутных цветных вод путем применения добавок-утяжелителей заключается в значительном сокращении объема сооружения 1-ой ступени очистки и их стоимости, а также в снижении затрат реагентов и электроэнергии. Для станции производительностью 350 тыс. м³/сут. стоимость капитальных затрат на 1 ступени очистки снижается на 398,7 млн. руб., при использовании кварцевого песка и микрокальцита, и 430,5 млн. руб. – при добавлении железного порошка, а эксплуатационных расходов – на 2,74 и 2,68 млн. руб., соответственно, в сравнении с традиционной обработкой воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных комплексных исследований по интенсификации процесса коагуляции с применением добавок-утяжелителей определены оптимальные технологические параметры и эффективность процесса очистки маломутных цветных вод с применением разных видов отечественных добавок-утяжелителей. Выявлены оптимальные дозы и фракционный состав добавок-утяжелителей, порядка их ввода в обрабатываемую воду; условия перемешивания при обработке маломутных цветных вод, в частности р. Невы.

2. Установлено, что оптимальный размер фракций добавок-утяжелителей, при котором обеспечивалось наилучшее качество очищенной после отстаивания воды составляет: для песка и микрокальцита – 0,05-0,14 мм; для железного порошка и магнетита – не более 0,05 мм, а доза добавки – 0,05 г/л (при применении флокулянта).

3. Лучшее качество осветленной воды достигалось при введении утяжелителей в обрабатываемую воду вместе с коагулянтом на стадии смешения при следующих условиях перемешивания: при использовании кварцевого песка и микрокальцита – быстрое перемешивание (смешение) – 3 мин при 300 об/мин, медленное перемешивание (флокуляция) – 2 мин при 100 об/мин и 1 мин при 50 об/мин; при добавлении железного порошка: быстрое перемешивание – 3 мин при 600 об/мин, медленное перемешивание – 2 мин при 150 об/мин и 1 мин при 50 об/мин.

4. Исследования кинетики выпадения осадка при отстаивании воды после ее коагуляции с введением добавок-утяжелителей показали, что время осаждения сокращалось – с 30-40 мин (без добавок-утяжелителей) до 4,5-5,0 мин при добавлении кварцевого песка и микрокальцита и до 1,0-1,5 мин при добавлении железного порошка и магнетита. Определены значения коэффициентов агломерации n при осаждении коагулированных примесей с добавками (для песка – 0,39, для магнетита и железного порошка – 0,43).

5. Установлено, что изменение температуры обрабатываемой воды (в пределах 3-27 °С) при применении испытанных добавок-утяжелителей не оказывало существенного влияния на эффективность процессов коагуляции и флокуляции. При низкой температуре воды продолжительность последующего отстаивания также сокращалась в 8-26 раз (по сравнению с обработкой воды без добавок-утяжелителей). Применение микрокальцита способствовало повышению щелочности, pH очищенной воды и улучшало ее стабильность.

6. Применение добавок-утяжелителей (на примере кварцевого песка) при коагуляции невской воды позволяло снизить оптимальную дозу коагулянта на 10 %, и дозу флокулянта – на 20 % (по сравнению с оптимальными их дозами при обычной коагуляции воды), без ухудшения качества очищенной воды;

7. Применение осадка в качестве добавки для интенсификации процесса коагулирования невской воды оказалось не целесообразным, т.к. приводило к незначительному улучшению качества осветленной воды, но сопровождалось повышением содержания алюминия в очищенной вод. Также малоэффективным оказалось применение смеси осадка с песком.

8. Проведенные производственные испытания на действующих очистных сооружениях блока К-6 ЮВС СПб показали, что добавка кварцевого песка при коагуляции невской воды позволила повысить эффективность работы тонкослойных отстойников в среднем на 55,9 % по мутности, и на 20,0 % по окисляемости.

9. По результатам исследований рекомендованы технологические схемы процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением в качестве утяжелителей кварцевого песка, микрокальцита и железного порошка. Выбор схемы осуществляется в соответствии с требуемым эффектом очистки по показателям цветности и окисляемости исходной воды.

10. Получены расчетные уравнения по определению оптимальных доз реагентов и кинетики осветления маломутных цветных природных вод (по основным качественным показателям) при их коагуляции с введением разных видов добавок-утяжелителей (кварцевого песка, железного порошка и

микрокальцита) отечественного производства. Предложены аналитические зависимости для определения величин коэффициента утяжеления и степени повышения скоростей осаждения коагулированной взвеси при введении разных видов добавок-утяжелителей.

11. Экономическая эффективность применения способа интенсификации коагуляционной обработки маломутных цветных вод путем применения добавок-утяжелителей заключается в значительном сокращении объема сооружения 1-ой ступени очистки и их стоимости, а также в снижении затрат реагентов и электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение / Н. Н. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. Алексеева, Л. П. Механическое смешение реагентов с обрабатываемой водой / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский, А. В. Моисеев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 3. – С. 16-19.
3. Алексеева, Л. П. Оценка эффективности применения оксихлорида алюминия по сравнению с другими коагулянтами / Л. П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 2. – С. 11-14.
4. Алексеева, Л. П. Применение щелочных реагентов для оптимизации реагентной обработки маломутных цветных вод / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский, Б. Л. Видер // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 8. – С. 9-15.
5. Анисимова, Е. Н. Экспериментальные исследования очистки цветных природных вод электрохимическим методом: дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Анисимова. – Л. : ЛИСИ, 1973. – 209 с.
6. Апельцина, Е. И. Методы снижения концентрации остаточного алюминия / Е. И. Апельцина // Водоснабжение и санитарная техника. – 1986. – № 2. – С. 8-10.
7. Апельцина, Е. И. Методы снижения концентрации остаточного алюминия при подготовке питьевой воды / Е. И. Апельцина, В. З. Мельцер // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М. : 1997. – С. 33-36.
8. Апельцина, Е. И. Повышение эффективности коагулирования путем интенсификации процесса смешения реагентов с водой / Е. И. Апельцина, Ю. И. Вейцер, Л. П. Рыбакова // Научные труды АКХ «Пути интенсификации работы сооружений и повышения качества очистки природных вод». – М. : ОНТИ АКХ, 1980. – Вып. 177. – С. 18-24.

9. Бабенков, Е. Д. Влияние перемешивания воды на физические параметры коагулированной взвеси / Е. Д. Бабенков // Химия и технология очистки воды. – 1980. – Т. 2, № 5. – С. 387-391.
10. Бабенков, Е. Д. Влияние рН среды на свойства коагуляционной взвеси / Е. Д. Бабенков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 10. – С. 10-12.
11. Бабенков, Е. Д. Воду очищают коагулянты / Е. Д. Бабенков. – М. : Знание, 1983. – 64 с.
12. Бабенков, Е. Д. Методы безреагентного улучшения технологических параметров коагулированной взвеси: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Д. Бабенков. – М., 1966. – 20 с.
13. Бабенков, Е. Д. Оптимальная доза коагулянта при очистке воды / Е. Д. Бабенков. – М. : Транспорт, 1974. – 24 с.
14. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков. – М. : Наука, 1977. – 356 с.
15. Блувштейн, И. Коагулирование взвеси с добавлением шлама / И. Блувштейн // Жилищно-коммунальное хозяйство. – 1957. – № 9. – С. 16-17.
16. Блувштейн, М. М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода / М. М. Блувштейн. – М. : Стройиздат, 1971. – 192 с.
17. Вдовин, Ю. И. Водоснабжение на Севере / Ю. И. Вдовин. – Л. : Стройиздат, 1987. – 168 с.
18. Вейцер, Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды / Ю. И. Вейцер, Д. В. Минц. – М. : Стройиздат, 1975. – 191 с.
19. Вейцер, Ю. И. О применении высокомолекулярных флокулянтов для интенсификации очистки воды / Ю. И. Вейцер, Л. Н. Паскуцкая // Сборник научных трудов АКХ. Водоснабжение. – М., 1960. – № 1. – С. 104-126.
20. Вейцер, Ю. И. Осаждение коагулирующих суспензий / Ю. И. Вейцер, З. А. Колобова // Сборник научных трудов АКХ. Водоснабжение. – М., 1960. – № 1. – С. 56-72.

21. Влияние солевого состава на коагуляцию цветных вод / В. Д. Дмитриев, В. А. Скроба, Г. Н. Блинова [и др.] // Исследования в области водоснабжения, канализации, вентиляции и кондиционирования воздуха : Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1991.
22. Водоснабжение II : пер. с фин. / Э. Карттунен. – СПб. : Новый журнал, 2005. – 688 с.
23. Водоснабжение и водоотведение в Санкт-Петербурге / Коллектив авторов ; под ред. Ф. В. Кармазина. – СПб. : Новый журнал, 2008. – 462 с.
24. Водоснабжение Санкт-Петербурга / Коллектив авторов ; под общ. ред. Ф. В. Кармазина. – СПб. : Новый журнал, 2003. – 687 с.
25. Войтов, Е. Л. Очистка маломутных природных вод с высоким содержанием органических соединений для питьевого водоснабжения: Дис. ... докт. техн. наук. / Е. Л. Войтов. – Иркутск, 2012. – 322 с.
26. Войтов, Е. Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением : монография / Е. Л. Войтов, Ю. Л. Сколубович. – Новосибирск, 2010. – 216 с.
27. Вольфтруб, Л. И. Эффективность работы тонкослойных отстающих сооружений на станциях водоподготовки / Л. И. Вольфтруб // Сборник научных трудов / ВНИИ ВОДГЕО. – М., 1988. – С. 52-56.
28. Выбор технологии и оснащение пригородных водопроводных станций Санкт-Петербурга системами нейтрализации коррозионной агрессивности воды / А. В. Бекренев, А. К. Кинебас, Ф. В. Кармазинов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 7. – С. 21-24.
29. Герасимов, Г. Н. Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод / Г. Н. Герасимов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 3. – С. 26-31.
30. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации [ПДК] химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М. : Минздрав РФ, 1998. – 77 с.

31. ГОСТ 18165-89. Метод определения массовой концентрации алюминия. – М. : Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
32. ГОСТ 2138-91. Пески формовочные. Общие технические условия. – М. : Стандартиформ, 2005. – 8 с.
33. ГОСТ 25473-82. Руды железные и концентраты. Метод определения минералогического типа. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 7 с.
34. ГОСТ 24104-2001 Весы лабораторные. Общие технические требования. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
35. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 35 с.
36. ГОСТ 3351-85. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2010. – 7 с.
37. ГОСТ 3758-75 Реактивы. Алюминий сернокислый 18-водный. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.
38. ГОСТ 9849-86. Порошок железный. Технические условия. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 9 с.
39. ГОСТ Р 51642-2000. Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности. – М. : Госстандарт России, 2000. – 15 с.
40. Гумен, С. Г. Применение современных химических реагентов для обработки маломутных цветных вод / С. Г. Гумен // Водоснабжение и санитарная техника – 2001. – № 3. – С. 12-15.
41. Демура, М. В. Проектирование тонкослойных отстойников / М. В. Демура. – Киев : Будівельник, 1981. – 52 с.
42. Дмитриев, В. Д. Влияние состава гуминовых веществ на процесс обесцвечивания маломутных цветных вод р. Вычегды / В. Д. Дмитриев, В. Ф. Фомина // Исследования в области водоснабжения; Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1980. – С. 38-44.
43. Дмитриев, В. Д. Исследование состава веществ, обуславливающих цветность воды рек северных районов / В. Д. Дмитриев, В. Ф. Фомина,

Л. И. Милькова // Вопросы проектирования и эксплуатации систем ; Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1988. – С. 23-28.

44. Дмитриев, В. Д. Методы подготовки воды в условиях Севера / В. Д. Дмитриев. – Л. : Стройиздат, 1981. – 120 с.

45. Дмитриев, В. Д. О природе органических веществ, обуславливающих цветность воды озер Разлив и Краснохолмского / В. Д. Дмитриев, Е. Н. Анисимова, Н. С. Соловьева // Новые исследования сетей и сооружений водоснабжения и канализации ; Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1974. – С. 18-21.

46. Дмитриев, В. Д. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации и газоснабжения : Справ. / под ред. В. Д. Дмитриев, Б. Г. Мишукова. – Л., 1988. – 383 с.

47. Драгинский, В. Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев. – М., 2005. – 571 с.

48. Драгинский, В. Л. Повышение эффективности реагентной обработки воды на водопроводных станциях / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева. // Водоснабжение и санитарная техника – 2000. – № 5. – С. 11-14.

49. Житомирский, Л. Г. Коагуляция воды серноокислым алюминием и известью / Л. Г. Житомирский. – М. ; Ростов н/Д, 1935. – 56 с.

50. Жуков И. И. К вопросу об оптимальных условиях коагуляции при очистке воды реки Невы : избранные тр. / И. И. Жуков. – М. : Изд-во АН СССР, 1952. – С. 234-243.

51. Запольский, А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды : свойства, получение, применение / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Л. : Химия, 1987. – 208 с.

52. Иванов, В. Г. Применение тонкослойных отстойников в целлюлозно-бумажной промышленности / В. Г. Иванов, В. П. Семенов, Ю. М. Симонов. – М. : Лесная промышленность, 1989. – 176 с.

53. Иванов, В. Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации природных и сточных вод : дис. ... докт. техн. наук / В. Г. Иванов. – СПб., 1998. – 304 с.

54. Интенсификация процесса коагуляции при очистке воды р. Невы путем применения добавок утяжелителей : отчет о проведении апробации / ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – СПб., 2014. – 43 с.

55. Интенсификация процесса коагуляции при очистке воды р. Невы путем применения добавок утяжелителей : программа проведения апробации на ЮВС / ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – СПб., 2014. – 30 с.

56. Использование полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды на Крайнем Севере / А. В. Сычев, Ш. А. Хасанов, Л. П. Капивец [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 2. – С. 30-31.

57. Канализация населенных мест и промышленных предприятий : Справочник проектировщика : / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Самохина. – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.

58. Кастальский, А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. – М., 1962. – 557 с.

59. Кедров, Ю. В. Исследование особенностей гравитационного выделения грубодиспергированных примесей в тонком слое воды: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Кедров. – М., 1974. – 32 с.

60. Кенгерли, А. Д. Исследование возможности использования осадков отстойников при обработке высокоцветных маломутных вод: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Д. Кенгерли. – Киев, 1969. – 28 с.

61. Клячко, В. А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – М. : Стройиздат, 1962. – 819 с.

62. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.

63. Кульский, Л. А. Основы технологии кондиционирования воды / Л. А. Кульский. – Киев : Изд-во АН УССР, 1963. – 452 с.

64. Кульский, Л. А. Очистка воды на основе классификации ее примесей / Л. А. Кульский. – Киев : 1967. – 14 с.

65. Кульский, Л. А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов / Л. А. Кульский, М. Н. Булава, И. Т. Гороновский [и др.]. – Киев : Будівельник, 1972. – 422 с.
66. Кульский, Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды: Процессы и аппараты / Л. А. Кульский. – Киев : Наукова думка, 1983. – 527 с.
67. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Киев : Вища шк., 1981. – 328 с.
68. Кульский, Л. А. Химия воды. Физ.-хим. процессы обработки природных и сточных вод / Л. А. Кульский. – Киев : Вища шк., 1983. – 240 с.
69. Кульский, Л. А. Химия и технология обработки воды / Л. А. Кульский. – М. : Изд-во АН УССР, 1960. – 360 с.
70. Линевиц, С. Н. Коагуляционный метод водообработки : теоретические основы и практическое использование / С. Н. Линевиц. – М. : Наука, 2007. – 230 с.
71. Мартынова, О. И. Коагуляция при водоподготовке / О. И. Мартынова. – М. : 1951. – 76 с.
72. Минц, Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д. М. Минц. – М. : Стройиздат, 1964. – 156 с.
73. Моисеев, А. В. Интенсификация процессов коагуляции и флокуляции природных вод за счет регулируемого механического перемешивания в смесителях и камерах хлопьеобразования очистных сооружений : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Моисеев. – М., 2005. – 196 с.
74. Николадзе, Г. И. Водоснабжение / Г. И. Николадзе, М. А. Сомов. – М. : Стройиздат, 1995. – 693 с.
75. Николадзе, Г. И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / Г. И. Николадзе, Д. М. Минц, А. А. Кастальский. – М. : Высш. шк., 1984. – 384 с.
76. Николадзе, Г. И. Технология очистки природных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Высш. шк., 1987. – 479 с.

77. Новакович, А. Технологическая карта процесса осветления воды на сооружениях блока К-6 ЮВС / А. Новакович, Ю. И. Смирнов / ООО «Тахал Санкт-Петербург». – СПб., 2011. – 11 с.

78. Новакович, А. Технологическая карта процесса фильтрации воды на сооружениях блока К-6 ЮВС / А. Новакович, Ю. И. Смирнов / ООО «Тахал Санкт-Петербург». – СПб., 2011. – 11 с.

79. Новакович, А. Технологическая карта процесса компенсации загрязненной промывной воды, системы очистки и возврата на сооружения блока К-6 ЮВС / А. Новакович, Ю. И. Смирнов / ООО «Тахал Санкт-Петербург». – СПб., 2011. – 11 с.

80. Новиков, М. Г. Реконструкция осадка – метод повышения эффективности работы водоочистных сооружений / М. Г. Новиков // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М. : 1997. – С. 47-50.

81. Обследование и экспертная оценка очистных сооружений водопровода Санкт-Петербурга, эффективности очистки воды в целом и по этапам водоподготовки. Прогноз ситуации и предложения по повышению эффективности работы очистных сооружений станций водоподготовки : отчет / М. Г. Новиков / ГУП СПб НИИ АКХ. – СПб., 2002. – 71 с.

82. Официальный web-site группы компаний «РусХим» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://rushim.ru/product_info.php?products_id=4252.

83. Официальный web-site ЗАО «ЛЕНТЕПЛОСНАБ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lenteplosnab.ru/prensa/rasin>.

84. Официальный web-site фирмы «Johnsonscreens» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.johnsonscreens.com/sites/default/files/literature/CoMag%20Clarification%20System.pdf>.

85. Официальный web-site фирмы ООО «АльфаХимПром» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://alfahimprom.tiu.ru/p25057766-flopam-4290-pwg.html>.

86. Официальный web-site фирмы ООО «ПетроСтрой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://petrostm.ru/catalog/29/71/>.
87. Официальный web-site фирмы ООО «ПетроСтрой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://petrostm.ru/catalog/25/29/>.
88. Официальный web-site фирмы ООО «ПромСнабКомплект» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://psk-chim.ru/prays-list>. [ОЗ]+
89. Официальный web-site фирмы ООО «Стеатит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bashtalc.ru/prirodniiy_magnetit.html.
90. Павлов Г. Д. Осветление воды на гидроциклонах / Г. Д. Павлов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1964. – № 1. – С. 10-14.
91. Павловский, В. А. Моделирование процесса очистки природных и сточных вод / В. А. Павловский, Ю. Л. Сколубович, Т. А. Краснова. – Новосибирск, 2005. – 144 с.
92. Пацюков, А. И. Исследование влияния перемешивания воды в процессе коагуляции и повторного использования осадка в осветлителях : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Пацюков. – Горький, 1974. – 24 с.
93. Пацюков, А. И. Исследование работы осветлителей с механической мешалкой / А. И. Пацюков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1977. – № 4. – С. 24-26.
94. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М. : Госхимиздат, 1962. – 841 с.
95. Применение новых технологий очистки воды на водопроводе г. Ярославля / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский, А. В. Моисеев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 4, Ч. 2. – С. 28-30.
96. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2002. – 62 с.

97. Система стабилизации агрессивной воды на Петродворцовой водопроводной станции / А. В. Бекренев, А. К. Кинебас, Т. М. Портнова [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 2. – С. 34-39.
98. Скирдов И. В. Очистка сточных вод в гидроциклонах / И. В. Скирдов, В. Г. Пономарев. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
99. Скопинцев, Б. А. Коагуляция природных вод сернокислым алюминием при низких температурах / Б. А. Скопинцев, М. Т. Голубева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1938. – № 10. – С. 45-54.
100. Скопинцев, Б. А. Органическое вещество в природных водах : водный гумус // Тр. гос. океанографического ин-та. – М., 1950. – Вып. 12 [29]. – С. 120-125.
101. Скопинцев, Б. А. Условия коагуляции гуминовых вод сернокислым алюминием / Б. А. Скопинцев, М. Т. Голубева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1934. – № 9. – С. 19.
102. Снижение концентрации остаточного алюминия в питьевой воде на Южной водопроводной станции г. Ярославля / Л. П. Алексеева, В. Ф. Егоров, Л. Н. Староселец [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 2. – С. 16-21.
103. СНиП 2.04.20-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М. : Госстрой СССР, 1985. – 136 с.
104. Совершенствование технологии очистки воды на водопроводе г. Ярославля. / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, А. А. Аниськин [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 4, Ч. 2. – С. 31-34.
105. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.20-84. – М., 2012. – 122 с.
106. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: пер. с польск. ; под ред. И. А. Щупляка. – Польша, 1975. – 384 с.
107. Технический справочник по обработке воды Degremont : в 2 т. – Спб. : Новый журнал, 2007. – 1696 с.

108. Технология высокоскоростного осветления воды с использованием микрореска / Ю. В. Шемякин, В. П. Подковыров, Ю. В. Стрихар [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 10. – С. 12-18.
109. Турчинович, В. Т. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест / В. Т. Турчинович. – М. ; Л., 1939. – 348 с.
110. Турчинович, В. Т. Коагулянты для очистки питьевой воды / В. Т. Турчинович // АКХ им. К. Д. Памфилова. – М., 1948. – 136 с.
111. Турчинович, В. Т. Улучшение качества воды / В. Т. Турчинович. – М. ; Л., 1935. – 343 с.
112. Фомина, В. Ф. Особенности коагулирования маломутных цветных вод реки Вычегды в условиях низких температур / В. Ф. Фомина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011, № 8. – С. 48-56.
113. Фомина, В. Ф. Состав водного гумуса реки Вычегды в створе водозабора г. Сыктывкара / В. Ф. Фомина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 8. – С. 42-47.
114. Фрог, Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
115. Хиршиева, И.В. Интенсификация процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением добавок-утяжелителей / И.В. Хиршиева [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/116-12394>.
116. Хиршиева, И.В. Исследования по применению добавок-утяжелителей для интенсификации процесса коагуляции маломутных цветных вод / И.В. Хиршиева, Ю.А. Феофанов // Актуальные проблемы строительства: Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – СПб., 2013. – С. 6-7.
117. Хиршиева, И.В. Очистке воды р. Нева с применением добавок-утяжелителей хлопьев коагулянта / И.В. Хиршиева, Ю.А. Феофанов // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3(44). – С. 175-178.

118. Хиршиева, И.В. Повышение эффективности процесса коагуляции маломутных цветных вод путем введения добавок-утяжелителей / И.В. Хиршиева, Ю.А. Феофанов // Вода, экология: проблемы и решения. – 2014. – № 2. – С. 24-30.

119. Хиршиева, И.В. Результаты исследований по применению добавок-утяжелителей для интенсификации процесса коагуляции / И.В. Хиршиева, Ю.А. Феофанов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. - № 3(38). – С. 129-134.

120. Хиршиева, И.В. Технологические схемы процесса коагуляции маломутных цветных вод с введением добавок-утяжелителей / И.В. Хиршиева // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 5(46). – С. 107-111.

121. Хиршиева, И.В. Особенности коагулирования маломутных цветных вод с применением добавок-утяжелителей /И.В. Хиршиева, Ю.А. Феофанов // Вода, экология: проблемы и решения. – 2014. – № 4. – С. 3-9.

122. ЦВ 1.01.11-98 «А». Методика выполнения измерений щелочности в пробах питьевой и природной воды титриметрическим методом. – СПб., 2005. – 8 с.

123. ЦВ 1.01.14-98 «А». Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости проб питьевых и природных вод. – СПб., 2005. – 10 с.

124. ЦВ 1.04.46-00. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа в пробах питьевых и природных вод фотометрическим методом. – СПб., 2008. – 15 с.

125. Шевченко, М. А. Органические вещества в природной воде и их методы удаления / М. А. Шевченко. – Киев : Наукова думка, 1966. – 203 с.

126. Шевченко, М. А. Физико-химическое обоснование процессов обесцвечивания и дезодорации воды. / М. М. Шевченко. – Киев : Наукова думка, 1973. – 150 с.

127. Эффективность использования полиоксихлоридов алюминия при очистке природных вод / А. К. Кинебас, Е. Д. Нефедова, В. А. Гвоздев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 9. – С. 52-56.
128. Amirthaiah, A. Rapid – mix design for mechanisms of alum coagulation / A. Amirthaiah, K. M. Mills // Journal American Water Works Association. – 1982. – Vol. 74, N. 4. – P. 210-216.
129. Argaman, Y. Turbulence and flocculation / Y. Argaman, W. J. Kaufman // Journal of the Sanitary Engineering Division. – ASCE, 1970. – Vol. 96, N. SA2. – P. 223-241.
130. Black, A. P. Electrokinetik behavior of aluminum species in dilute dispersed kaolinitisystems / A. P. Black , Chen Ching-lin // Journal American Water Works Association. – New York, 1967. – Vol. 59, N 9. – P. 1173-1183.
131. Booker, N. A. Sewage clarification with magnetite particles / N. A. Booker, D. Keir, A. J. Priestley, C. B. Ritchie, D. L. Sudarmana, M. A. Woods // Water Science and Technology. – 1991. – Vol. 23, N 7-9. – P. 1703-1712.
132. Camp, T. R. Flocculation and flocculation basins / T. R. Camp, M. ASCE // Proceedings American Society of Civil Engineers. – 1953. – Vol. 79, N 283. – P. 283 (1-18).
133. Camp, T. R. Flocculation and flocculation basins. / T. R. Camp, M. ASCE // Transactions American Society of Civil Engineers. – New York, 1955. – Vol. 120, N 2722. – P. 1-16.
134. Camp, T. R. Floe Volume Concentration / T. R. Camp // Journal American Water Works Association. – 1968. – Vol. 60, N 6. – P. 656-73.
135. Cohen J. M. Natural and synthetic polyelectrolytes as coagulant aids / J. M. Cohen, G. A. Rourke, R. L. Woodward // Journal American Water Works Association. – 1958. – Vol. 50, N 4. – P. 463-478.
136. Ellis, E. P. Selection, Installation, Startup and Testing of the World's First Full-Scale CoMag Phosphorus Reduction Tertiary Treatment System / E. P. Ellis, A.H. Cathcart [Электронный ресурс] // Proceedings WEFTEC. – 2008.

137. Glenn, R. W. Filtrability of Water-Treatment-Plant Sludge / R. W. Glenn, J. F. Judkins, J. Morgan // Journal American Water Works Association. – New York, 1973. – Vol. 65, N 6. – P. 414-417.
138. Hudson, H. R. Design of mixing and flocculation basins / H. R. Hudson, J. P. Wolfner // Journal American Water Works Association. – New York, 1967. – Vol. 59, N 10. – P. 1257-1267.
139. Hudson, H. R. Physical Aspects of Flocculation / H. R. Hudson // Journal American Water Works Association. – New York, 1965. – Vol. 57, N 7. – P. 885-892.
140. Letterman, R. D. Influence of Rapid-Mix Parameters on Flocculation / R. D. Letterman, J. E. Quon, R. S. Gemmell // Journal American Water Works Association. – New York, 1973. – Vol. 65, N 11. – P. 716-722.
141. O'Melia, C. N. A Review of the Coagulation Process / C. N. O'Melia, // Public Works. – 1969. – Vol. 100, N 5-6. – P. 87-98.
142. Packham, R. F. Some Studies of the Coagulation of Dispersed Clays with Hydrolyzing Salts / Packham R. F. // Journal of Colloid Science. – New York, 1965. – Vol. 20, N 1. – P. 81-92.
143. Patent EP № 0486574 B1. Improved sewage treatment process / A. J. Priestley, D. L. Sudarmana. – 1994.
144. Patent US № 4927543. Method and installation for treating liquid by sedimentation using fine sand / Guy P. Bablon, Gilbert Desbos. – 1990.
145. Patent US № 5730864. Installation for treating an untreated flow by simple sedimentation after ballasting with fine sand / F. Delsalle, N. Le Poder, P. Binot. – 1998.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Программа и отчет о проведении апробации (титульные и последние листы) на ЮВС способа интенсификации процесса коагуляции при очистке воды р. Нева путем применения добавок утяжелителей, утвержденный ГУП Водоканал СПб

СОГЛАСОВАНО:

Профессор кафедры водопользования
и экологии Санкт-Петербургского
государственного архитектурно-
строительного университета



Нефедов Ю.А.

2013 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор филиала
«Инженерно-инновационный центр»
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

Нефедова Е.Д.

« 09 » 12 2013 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель директора дирекции -
главный инженер
Дирекции водоснабжения
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

Данилов А.Н.

« 06 » 12 2013 г.

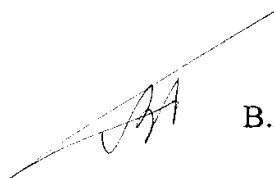
ПРОГРАММА АПРОБАЦИИ

**Интенсификация процесса коагуляции
при очистке воды р. Нева путем применения добавок утяжелителей.**

Санкт-Петербург
2013 г.

*Продолжение приложения***СОГЛАСОВАНО:**

Начальник
Управления водоснабжения и канализования
филиала «Инженерно-инновационный центр»
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»



В.А. Гвоздев

Начальник Службы главного технолога
Технического управления
Дирекции водоснабжения
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»



Т.М. Портнова

Аспирант кафедры водопользования и экологии,
Специальность «Водоснабжение и водоотведение»,
Факультет инженерно-экологических систем,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет



И.В. Хиршиева

Продолжение приложения [54]

СОГЛАСОВАНО:

Профессор кафедры водопользования
и экологии Санкт-Петербургского
государственного архитектурно-
строительного университета

 Кафедра
водоснабжения
Ю.А. Софанов

« 21 » 03 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ:

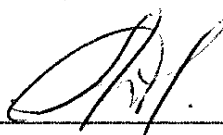
Директор филиала
«Инженерно-инновационный центр»
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»


Нефедова Е.Д.

« 24 » 03 2014 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель директора дирекции -
главный инженер
Дирекции водоснабжения
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»


Данилов А.Н.

« 20 » 03 2014 г.

ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕНИИ АПРОБАЦИИ

Интенсификация процесса коагуляции
при очистке воды р. Нева путем применения добавок утяжелителей.

Санкт-Петербург
2014 г.

Окончание приложения

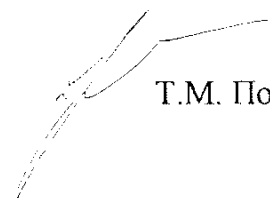
СОГЛАСОВАНО:

Начальник
Управления водоснабжения и канализования
филиала «Инженерно-инновационный центр»
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»



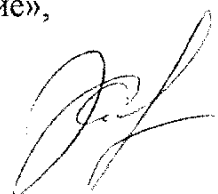
В.А. Гвоздев

Начальник Службы главного технолога
Технического управления
Дирекции водоснабжения
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»



Т.М. Портнова

Аспирант кафедры водопользования и экологии,
Специальность «Водоснабжение и водоотведение»,
Факультет инженерно-экологических систем,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет



И.В. Хиршиева

Приложение Б.

Паспорт на кварцевый песок ГОСТ 2138-91

ООО «Ремикс»

Паспорт качества
на сухой формовочный песок

Дата _____, Накладная № _____, Машина № _____
Вес (кг) _____

Качественные показатели

Карьер: ТолмачевоМарка песка по ГОСТ 2138-91 ЗКЗО2Фракция песка 0-0,63 Модуль крупности песка Мк= 1,42

Гранулометрический состав песка:

	Размер ячеек сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Частные остатки на ситах, %	-	0,3	0,5	45,17	48,83	5,2
Полные остатки на ситах, %	-	0,3	0,8	45,97	94,8	-

Влажность песка _____ 0,1 %.

Содержание глинистых и пылевидных частиц _____ 0,7 %, а также глины в комках _____ %.

Объемная насыпная масса песка _____ 1400 кг/м³.

Наличие вредных компонентов и примесей _____ %.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов _____ 114 Бк/кг.

Ответственное лицо: _____



Приложение В.

Паспорт на порошок железный ПЖР 3.200-28 ГОСТ 9849-86

ПАСПОРТ № 164

Порошок железный
ПЖР 3.200.28
ГОСТ 9849-86

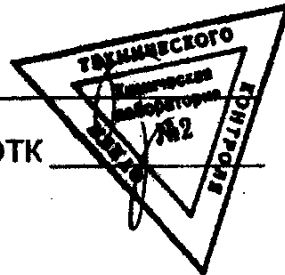
Партия № 135
 Масса нетто: 2000 кг
 Дата: 11/2005 г.

№	Наименование показателей	Фактически
1	Насыпная плотность, г/см ³	2,80
2	Текучесть, с/50г	30,0
3	Плотность при P=700 Мпа, г/см ³	16,3
4	Прочность при плотности 6,5 г/см ³ , н/мм	7,15
5	Массовая доля С, %	0,0052
6	Массовая доля Si, %	0,016
7	Массовая доля Mn, %	0,061
8	Массовая доля P, %	0,018
9	Массовая доля S, %	0,007
10	Массовая доля O (общ), %	0,261

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОТК: соответствует ГОСТ 9849-86

Аналитик _____

Начальник ОТК _____



Окончание приложения

Сертификат качества № 45 Дата выписки 24.03.2013 г Лист 1 / Листов 1

Грузополучатель Корсаев Наряд № _____

Наименование продукции – порошок железный распыленный ГОСТ 9849-86

Вид упаковки сервизе концентрате Вагон, контейнер № _____

Дата выпуска	№ партии	Обозначение	Количество мест, шт.	Масса нетто, кг	Насыпная плотность г-см ³	Текучесть, с	Прочность прессовок, МПа	Уплотняемость при давлении 700 МПа г-см
02.01.13	14	PM1320028	1	850	287	30	188	210
28.02.13	464	PM1320028	9	4650	284	31	223	211
03.03.13	428	PM1320028	13	11050	277	31	223	214

Гранулометрический состав

Химический состав

№ партии	Выход фракции, проц. при размере частиц, мм										Массовая доля элементов, проц.			
	менее 063 до 045	менее 045 до 0315	менее 0315 до 025	менее 025 до 020	менее 020 до 016	менее 016 до 0045	менее 0045 до 0045	железо	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор	кислород
428	-	-	-	01	43	788	178	005	003	013	002	002	002	032
464	-	-	-	01	65	748	186	002	003	012	002	002	002	042
428	-	-	-	01	68	844	177	003	003	009	001	002	002	042

При переписке по вопросам качества ссылаться на № сертификата

ОИЖ

Приложение Г.

Паспорт на магнетит природный ГОСТ 25473-82

ООО "СТЕАТИТ"

магнетит природный ГОСТ 25473 – 82 (код тнвэд 3206491000)

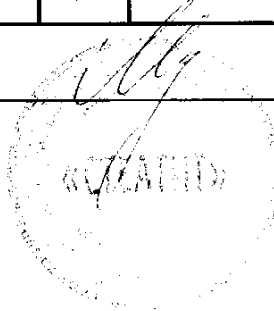
Партия № 026. Дата изготовления 15. 06. 2011 год.

453700, Россия, Республика Башкортостан,
г. Учалы, пер. Горнозаводская, 19.
тел. (34791) 6-07-53. 6-13-89.
e-mail : bashtalk@mail.ru

Наименование показателя		Фактические показатели					
Остаток, %, на сетке № 014 не более %		3,50%					
Остаток, %, на сетке № 009 не более %		15,40%					
Остаток, %, на сетке № 056 не более %		56,90%					
Остаток, %, на сетке № 045 не более %		80%					
Массовая доля окиси магния (MgO), %, не менее		28%					
Потеря массы при прокаливании, %, не более		8%					
Массовая доля окиси кальция(CaO), %, не более		0,50%					
Массовая доля влаги,%, не более		1%					
Содержание массовой доли, %							
Fe ₂ O ₃	FeO	Cu	Zn	Mn	0	Cd	Au
77	22,88	0,03	отс.	0,07	0,012	отс.	отс.

Начальник отдела продаж

Исламов Д. Г.



Приложение Д.

Паспорт и экспертное заключение на кварцевый песок
ТУ 5711-009-80531125-2009

ООО «Ремикс»

Паспорт качества
на песок кварцевый натуральный
ТУ 5711 -009-80531125-2009Дата _____, Накладная № _____, Вагон № ____ а/м _____
Вес (кг) _____

Качественные показатели

Фракция песка __0,1-0,3__

Цвет _____

Гранулометрический состав песка:

	Размер ячеек сит, мм							поддон
	0,4	0,315	0,20	0,16	0,1	0,063	0,050	
Частные остатки на ситах, %	0,03	0,32	22,38	30,61	31,67	12,41	2,1	0,48

Влажность песка _____ 0,1_ %.

Содержание глинистых и пылевидных частиц _____ - _%.

а также глины в комках _____ - _%.

Наличие вредных компонентов и примесей _____ - _%.

Коэффициент однородности _____ - _%.

Средний размер зерна _____ - _ мм.

Средний размер зерна _____

Удельная эффективная активность
естественных радионуклидов $A_{эфф.}$ _____ <370 _____ Бк/кг.

Температура песка _____ *С

Ответственное лицо _____

Продолжение приложения

		УТВЕРЖДЕНО Приказом ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» от 20 мая 2011 г. № 269
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»		
		УТВЕРЖДАЮ Главный врач /Ю. Н. Коржаев/ 1
ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ		
№ 78.01. <u>09.54.П.1107</u> « <u>23</u> » <u>04</u> 20 <u>11</u> года		
По результатам санитарно-эпидемиологической экспертизы продукции – Песок для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод.		
Организация-заявитель: ООО "Ремикс", 196650, г. Санкт-Петербург, г. Колпино, ул. Финляндская, д. 31, РФ.		
Организация-изготовитель: ООО "Ремикс", 196650, г. Санкт-Петербург, г. Колпино, ул. Финляндская, д. 31, РФ.		
Основание для проведения экспертизы: письмо вх. № 1782 от 05.03.2012 г.		
Состав экспертных материалов:		
– технические условия ТУ 5711-009-80531125-2009, – документы на сырьё, – протоколы: лабораторных исследований и испытаний ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» № 6636/1899/10 от 28.07.2010 г., № 6636/1996 от 12.08.2010 г.; лабораторных исследований ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» №№ 1326-1, 1326-2 от 13.04.2012 г. (аттестат аккредитации № ГСЭН.RU.ЦОА.011 от 26.02.2008 г.).		
Установлено:		
Санитарно-эпидемиологическая экспертиза песка для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод проведена на основании представленных документов, результатов лабораторных исследований и испытаний на соответствие Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утверждённым решением Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 г. № 299, (глава II, Раздел 3. Требования к материалам, реагентам, оборудованию, используемым для водоочистки и водоподготовки), изменению в Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утвержденные Решением Комиссии Таможенного союза от 07.04.2011 года № 622, СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические		
№ 0006285		
Продолжение: страниц <u>3</u> с № <u>0010013</u> по № <u>0010015</u>		ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», 191023, г. Санкт-Петербург, ул. М. Садовая, д. 1 (для переписки), тел.: (812) 570-38-11; тел./факс: (812) 710-50-88.

Продолжение приложения

К экспертному заключению
от 13.04 2012 г. № 78.01. 09.54.17.1104

требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения», СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009)", СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)", СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», СанПиН 2.1.4.2652-10 «Изменение № 3 в СанПиН 2.1.4.1074-01 «Гигиенические требования к безопасности материалов, реагентов оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки», ГН 2.2.5.1313-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

Песок для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод изготавливается по техническим условиям ТУ 5711-009-80531125-2009 «Песок для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод», разработанным в соответствии с ГОСТ 2.114-95 «Единая система конструкторской документации. Технические условия». В технических условиях, в соответствии с СП 2.2.2.1327-03 "Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту", отражены требования, предъявляемые при изготовлении и применении песка. В целях охраны атмосферного воздуха от загрязняющих выбросов вредных веществ в технических условиях ТУ 5711-009-80531125-2009 предусматривается организация контроля за соблюдением предельно допустимых выбросов (ПДВ) по ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями». Сбор, хранение и утилизацию отходов, образующихся при производстве, предусматривается осуществлять в соответствии с СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

Гигиеническая характеристика:

Песок для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод представляет собой фракционированный сухой кварцевый песок из карьеров «Шапки» и «Кузьмолово». Эффективная удельная активность природных радионуклидов (Аэфф.) сырья – не более 370 Бк/кг. Результаты радиационного контроля (Аэфф.) – 73 Бк/кг. Водные вытяжки не обладают кожно-резорбтивным и сенсibiliзирующим действиями. Кожно-раздражающее действие водных вытяжек при однократном и повторном воздействиях – отсутствует. Водные вытяжки – не токсичны, индекс токсичности в пределах $70 < It < 120$ %. Песок не изменяет органолептические свойства холодной воды. Мутность - не более 1,5 ЕМФ. Цветность - не более 20 град. Водородный показатель рН – в пределах 6-9 ед. Окисляемость перманганатная - не более 5 мгО/дм³. Пенообразование – отсутствует. Сухой остаток – не более 1000 мг/дм³. Запах водной вытяжки – 0 баллов. Жёсткость общая – не более 7 мгэкв/дм³. Уровни миграции химических веществ из песка (карьер «Шапки») в холодную водную среду не

№ 0012073

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»,
191023, г. Санкт-Петербург, ул. М. Садовая, д. 1 (для переписки),
тел. (812) 570-38-11, т/ф. (812) 710-50-88

Продолжение приложения

К экспертному заключению
от 23.04 2012 г. № 78.01. 09.54.17.1104

превышают допустимые, а именно: железа – не более 0,3 мг/дм³; алюминия – не более 0,5 мг/дм³; кремния – не более 10 мг/дм³; кадмия – не более 0,001 мг/дм³; меди – не более 1 мг/дм³; свинца – не более 0,03 мг/дм³; марганца – не более 0,1 мг/дм³; никеля – не более 0,1 мг/дм³; цинка – не более 5 мг/дм³.

Уровни миграции химических веществ из песка (карьер «Кузьмолово») в холодную водную среду не превышают допустимые, а именно: железа – не более 0,3 мг/дм³; алюминия – не более 0,5 мг/дм³; кремния – не более 10 мг/дм³; кадмия – не более 0,001 мг/дм³; меди – не более 1 мг/дм³; свинца – не более 0,03 мг/дм³; марганца – не более 0,1 мг/дм³; никеля – не более 0,1 мг/дм³; цинка – не более 5 мг/дм³, за исключением кадмия (норма – не более 0,001 мг/дм³) и марганца (норма – не более 0,1 мг/дм³), уровень миграции которых превышает допустимый в 1,4 раза и 3,72 раза соответственно, и составляет: кадмия – 0,0014 мг/дм³, марганца – 0,372 мг/дм³.

Мигрирующие в воду вещества из песка (карьеры «Шапки» и «Кузьмолово») оказывают влияние на микрофлору холодной воды и способствуют биообрастанию (общее микробное число на 30-е сутки – более 300 КОЕ/см³, норма – не более 50 КОЕ/см³).

При изготовлении в воздух рабочей зоны выделяются химические вещества, а именно: пыль, содержащей диоксид кремния – 3/1 мг/м³.

Область применения: для использования в качестве фильтрующего зернистого загрузочного песка фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод.

Необходимые условия использования, хранения: предусмотрены в технической документации.

Транспортирование в упакованном виде на открытом подвижном составе водным, автомобильным или железнодорожным транспортом, либо насыпью в крытых транспортных средствах. Хранение насыпью на крытых площадках с твердым покрытием или в крытых бункерах, допускается в контейнерах на открытых площадках. Срок хранения – не ограничен.

При изготовлении предусматривается использование средств индивидуальной защиты кожных покровов, органов зрения и органов дыхания; оборудование помещений, в которых проводятся работы, местной и общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией и организация производственного контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Транспортировка и хранение без ограничений по радиационному фактору; проведение производственного радиационного контроля каждой партии минерального сырья и готовой продукции; проведение контрольных радиологических спектрометрических исследований не реже 1 раза в год

Информация, наносимая на этикетку: наименование и обозначение продукции, торговое название, состав, фирма-производитель, адрес, страна, назначение, описание опасности, меры безопасности, идентификационные данные партии продукции, масса, срок годности, дата изготовления, условия хранения.

Заключение:

Песок для загрузки фильтровальных сооружений по очистке питьевой и сточных вод, изготавливаемый ООО "Ремикс" по ТУ 5711-009-80531125-2009, соответствует СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения», СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы

№ 0012074

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»,
191023, г. Санкт-Петербург, ул. М. Садовая, д. 1 (для переписки),
тел. (812) 570-38-11, т/ф. (812) 710-50-88

Окончание приложения

К экспертному заключению
от 13.04 2012 г. № 78.01. 09.54. П. 1102

радиационной безопасности (НРБ – 99/2009)", СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)" и не соответствует Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утвержденным решением Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 г. № 299, (глава II, Раздел 3. Требования к материалам, реагентам, оборудованию, используемым для водоочистки и водоподготовки), изменению в Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утвержденные Решением Комиссии Таможенного союза от 07.04.2011 года № 622, СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», СанПиН 2.1.4.2652-10 «Изменение № 3 в СанПиН 2.1.4.1074-01 «Гигиенические требования к безопасности материалов, реагентов оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки», ГН 2.2.5.1313-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

Заведующая отделом гигиены труда

Герасимова Л.Б.

Заведующая отделом гигиены
среды обитания и условий проживания


Бек И.М.

№ 0012075

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»,
191023, г. Санкт-Петербург, ул. М. Садовая, д. 1 (для переписки),
тел. (812) 570-38-11, т/ф. (812) 710-50-88

Приложение Е.

Паспорт на мрамор молотый, фракционированный
ТУ 5716-001-12574404-2013

ПАСПОРТ № <u>511</u>		
Мрамор молотый, фракционированный ТУ 5716-001-12574404-2013		
Поставщик : ЗАО «Коелгамамрамор» ул. Промышленная корп. I с. Коелга Еткульского района Челябин. обл. тел.: (351) 2610264; 2610965 ; 7780592	Потребитель: ст. Новый Порт Дата отгрузки: 19,01,2014	
Марка <u>КМ-100</u>	Упаковка:	Партия - <u>512</u> № вагона: <u>525-83119</u>
Количество: <u>67,000</u>		
Качественные показатели		
Наименование показателей	Норма по ТУ	Фактически й анализ
1. Массовая доля, % CaCO ₃ Mg O Fe ₂ O+Al ₂ O ₃	н.м. 98,0 н.б. 0,7 н.б. 0,1	98,1 0,35 0,07
2. Массовая доля водорастворимых солей, %	н.б. 0,3	0,2
3. Массовая доля влаги, %	н.б. 0,2	0,1
4. Показатель концентрации водородных ионов в 10% водной суспензии (рН)	8,0-10,0	9,7
5. Цветовые характеристики* по CIEL ab (D65/10.),	L -н.м.-94,0	97,9
6. Массовая доля остатка на сите, % ** № 0,1	1,5-2,0	2,0
* -спектрофотометр X-Reite SP-62		
**-воздушный просеиватель ALPINE AIP JET 200LS-N		
Примечание		
Продукция проверена технолог Пономарев П.В.		

Приложение Ж.

Акт о внедрении результатов работы



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА

«ВИНКО»

197341 Санкт-Петербург, Серебристый б-р, дом 37
Факт. (почт.) адрес: 197110, Санкт-Петербург
Левашовский пр-кт, дом 12, литер А
Тел./факс (812) 602-09-82
E-mail: info@vinco.su http://www.vinco.su
ОКПО 47984570, ИНН / КПП 7814085662/781401001

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
к.т.н.

Рукобратский Н.И.

Санкт-Петербург

15.08.2014 г



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Для практического использования результатов научно-исследовательской работы «Интенсификация процесса коагуляции маломутных цветных вод», выполненной кафедрой водопользования и экологии Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета и рекомендаций по применению технологии очистки природных вод с применением добавок-утяжелителей (научный руководитель д.т.н., проф. Феофанов Ю.А., исполнитель Хиршиева И.В.) материалы данных работ были переданы в ООО "НПФ "ВИНКО".

Указанные материалы были использованы при расчете тонкослойных отстойников в проектах малогабаритных водоочистных установок производительностью до 500 м³/сут., предназначенных для обеспечения питьевой водой автономных объектов, расположенных на Крайнем Севере и Восточной Сибири РФ.

Применение результатов работ позволило существенно уменьшить размеры проектируемых сооружений за счет уменьшения габаритов тонкослойных отстойников. Техничко-экономическая эффективность от внедрения этих разработок будет определена после проведения строительно-монтажных и пуско-наладочных работ.

ГИП
к.т.н.

Рудецкий С.В.

Гл. специалист
к.т.н.

Тюняткина Т.Г.