

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОАГУЛЯНТОВ И ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ ОСВЕТЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

© 2010 г. А.В. Свиридов¹, А.Ф. Никифоров², В.А. Елизаров¹, О.С. Воронина¹

¹Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Ключевые слова: водоподготовка, коагуляция, флокуляция, фильтрование, реагенты, флокулирующие смеси, очистка питьевой воды.

Проведена сравнительная оценка различных реагентов для обработки поверхностных вод в процессах объемной и контактной коагуляции. При объемной коагуляции в условиях фильтровальной станции «Маяк» г. Полевской наиболее эффективными коагулянтами при обработке воды в паводковый период являются сульфат алюминия и алюможелезный коагулянт. Для достижения нормативных показателей очищенной воды необходимо применение флокулянтов и вспомогательных реагентов. Для контактной коагуляции целесообразно использование флокулирующих смесей.

Наибольшее распространение в процессах водоподготовки получили реагентные методы очистки питьевой воды, в частности, использование для этих целей коагулянтов и флокулянтов. На сегодняшний день промышленностью выпускается широкий спектр этих реагентов. В связи с этим, возникает задача сравнительной эффективности данных реагентов в различных технологических условиях.

В качестве объекта исследования выбрана фильтровальная «Маяк» г. Полевской. На станцию поступает поверхностная вода из р. Чусовая. В паводковый период (апрель-май) наблюдается ухудшение большинства показателей воды, в частности, цветности, мутности, содержания железа и окисляемости. Характеристика воды поступающей на фильтровальную станцию представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика воды р. Чусовая в период паводка 2002 г.

Показатель	Дата							
	06.05.	07.05.	08.05.	09.05.	10.05.	11.05.	12.05.	13.05.
Прозрачность, см	9	9	8	7	8	8	8	10
Цветность, градусы цветности	90	90	85	85	80	80	80	80
рН	7,0	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Мутность*, мг/дм ³	21,8	20,8	22,0	22,5	24,0	23,2	23,7	19,8
Железо (общее), мг/дм ³	2,95	3,10	3,75	3,10	3,20	3,30	2,80	2,10
Окисляемость, мгО/дм ³	15,0	16,0	14,3	15,0	15,0	14,0	14,0	14,0
Щелочность, ммоль/дм ³	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
Температура, °С	2	2	2	3	3	8	9	9
Запах, баллы	4	4	4	4	4	4	4	4

Примечание: * – здесь и далее мутность представлена по каолиновой шкале.

Из анализа представленных данных следует, что вода р. Чусовая в паводковый период относится по классификации [1] к маломутным водам (мутность до 50 мг/дм³) со средней цветностью (35–120 градусов цветности).

В исходной воде наблюдается превышение норм СанПиН 2.1.4.1074-01 по цветности, мутности, железу, окисляемости и запаху.

В качестве исследуемых образцов реагентов были изучены:

Коагулянты:

- алюминия сульфат технический очищенный $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (СА), производитель – ОАО «Святогор», г. Красноуральск, Свердловская область;
- полигидрохлорид алюминия (оксихлорид алюминия) (ПГХА) «БОПАК-Е», производитель – ЗАО «Реагенты Водоканала», г. Азов, Ростовская область;
- оксихлорид алюминия, производитель (ОХА) – ЗАО «Нива», г. Новосибирск;
- полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™ 30» (ПОХА), производитель – ОАО «Химический завод им. П.Л. Войкова» (ОАО «Аурат»), Москва;
- гидроксохлорид алюминия (ГХА), производитель – ОАО «Сорбент», г. Пермь;
- гидроксохлоросульфат алюминия (ГХСА), производитель – ОАО «Сорбент», г. Пермь;
- алюможелезный коагулянт (АЖК), производитель – ОАО «Сорбент», г. Пермь.

Флокулянты:

- полиэлектролит ВПК-402 водорастворимый катионный флокулянт, производитель – ЗАО «Каустик», г. Стерлитамак, Республика Башкортостан;

– амиачный ПАА-полиакриламид, производитель – ФГУП «Пермский завод имени С.М. Кирова», г. Пермь;

– Праестол (Праестол 2500, 2510, 611, 650) – разновидность ПАА, производитель – ЗАО «Компания Москва-Штокхаузен-Пермь», г. Пермь.

Вспомогательные реагенты:

– реагент флокулирующий сорбент-соосаждитель «Экозоль-401», производитель – ЗАО «ЭКО ПЛЮС», г. Екатеринбург;

– гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

– кальцинированная сода Na_2CO_3 .

Двухступенчатая схема. Оценка эффективности реагентов проведена в условиях объемной коагуляции на лабораторном флокуляторе, оснащенный механическими мешалками. Пробы воды для проведения эксперимента отбирались непосредственно на фильтровальной станции после первичного хлорирования. Качество очищенной воды определялось по следующим показателям: цветность (методом колориметрии), мутность (в осветленной воде и фильтрате), железо (общее), алюминий, окисляемость. Анализ на алюминий (при использовании основных солей) проводился с предварительным озолением пробы.

Стадии проведения экспериментов по коагуляции воды:

1. Смешение воды после первичного хлорирования с раствором коагулянта в течение 3 минут при градиенте $G = 250 \text{ c}^{-1}$.

2. Флокуляционное перемешивание в течение 15 минут при $G = 30 \text{ c}^{-1}$.

3. Отстаивание при гидравлической крупности $U_0 = 0,4 \text{ мм/с}$.

4. Фильтрация осветленной воды через кварцевый песок (поставщик – ОАО «Спецнефтематериалы» г. Волгоград), фракция 0,8–2,0 мм, высота загрузки 200 мм.

Анализ результатов пробного коагулирования показал, что применение основных солей алюминия в данных условиях неэффективно (табл. 2). Наиболее эффективными коагулянтами для данного качества сырой воды являются средние соли – сульфат алюминия и алюможелезный коагулянт. Они позволяют добиться наилучших показателей очистки воды, однако при этом не достигается требуемая степень очистки. При использовании средних солей происходит подкисление воды, вследствие чего наблюдается повышенная концентрация алюминия в очищенной воде и низкое значение рН (менее 6,0). Для корректировки рН при объемной коагуляции применялось известковое молоко.

Таблица 2. Результаты обработки воды различными коагулянтами

Показатель очищенной воды	Доза коагулянта, мг/дм ³ по Al ₂ O ₃				
	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
Сульфат алюминия ОАО «Святогор», г. Красноуральск Свердловской обл.					
рН	5,5	5,1	5,0	4,9	4,9
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	19,0	20,6	20,2	22,9	21,6
Мутность фильтрата, мг/дм ³	13,5	12,4	5,0	3,4	3,5
Цветность фильтрата, градусы цветности	107	49	58	33	27
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	1,2	1,0	0,7	1,3	0,9
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	1,6	1,3	0,6	0,5	0,5
Гидроксохлоросульфат алюминия ОАО «Сорбент», г. Пермь					
рН	6,6	6,2	6,0	6,1	5,9
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	22,1	15,2	13,4	15,2	17,0
Мутность фильтрата, мг/дм ³	16,6	10,2	8,0	5,7	8,7
Цветность фильтрата, градусы цветности	170	81	39	33	28
Окисляемость фильтрата, мгО/дм ³	13,7	11,3	8,5	8,6	8,3
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	1,5	1,1	1,1	0,9	1,1
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	2,1	1,4	0,9	0,7	0,8
Алюможелезный коагулянт ОАО «Сорбент», г. Пермь					
рН	6,1	5,6	5,3	5,1	5,0
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	17,5	16,6	17,3	15,8	13,9
Мутность фильтрата, мг/дм ³	16,0	10,3	9,3	7,0	6,3
Цветность фильтрата, градусы цветности	215	68	38	40	36
Окисляемость фильтрата, мгО/дм ³	14,5	10,8	8,3	8,6	8,0
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	1,8	1,4	1,2	0,9	0,9
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	2,7	1,7	1,4	1,1	1,1
Оксихлорид алюминия марки «БОПАК-Е», г. Екатеринбург					
рН	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	17,4	17,2	18,8	20,7	23,7
Мутность фильтрата, мг/дм ³	16,2	16,4	18,8	19,3	20,1
Цветность фильтрата, градусы цветности	189	184	160	132	66

Гидроксихлорид алюминия производства ОАО «Сорбент», г. Пермь					
рН	6,8	6,7	6,7	6,8	6,8
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	17,1	19,3	22,3	23,1	24,5
Мутность фильтрата, мг/дм ³	15,2	16,8	18,9	21,3	21,7
Цветность фильтрата, градусы цветности	185	200	165	75	38
Оксихлорид алюминия производства ЗАО «Нива», г. Новосибирск					
рН	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	18,9	17,1	22,7	23,3	26,2
Мутность фильтрата, мг/дм ³	17,4	15,9	20,3	18,0	19,3
Цветность фильтрата, градусы цветности	185	200	138	119	59
Полиоксихлорид алюминия марки «Аква-Аурат™ 30» ОАО «Аурат», Москва					
рН	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	17,5	16,7	18,3	21,3	28,1
Мутность фильтрата, мг/дм ³	16,1	16,5	17,3	19,7	24,7
Цветность фильтрата, градусы цветности	179	200	200	200	160

Далее были проведены эксперименты по определению оптимальной дозы извести по следующим стадиям:

1. Смешение воды после первичного хлорирования с раствором коагулянта в течение 5–10 секунд при градиенте $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
2. Смешение воды с раствором извести (рабочая концентрация 22,4 г/дм³ по $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в течение 3 минут при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
3. Флокуляционное перемешивание в течение 15 минут при $G = 30 \text{ с}^{-1}$.
4. Отстаивание при гидравлической крупности $U_0 = 0,4 \text{ мм/с}$.
5. Фильтрация осветленной воды через кварцевый песок, высота загрузки 200 мм.

Результаты обработки воды представлены в табл. 3. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что оптимальная доза известкового молока соответствует значению рН в диапазоне 5,9–6,0 и составляет 7–9 мг/дм³ по $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При более низком значении рН наблюдается повышенное содержание алюминия (особенно растворимых форм) и железа. При $\text{pH} > 6,0$ увеличивается степень диссоциации органических соединений, что приводит к образованию растворимых

металлорганических комплексов и увеличение в очищенной воде цветности, концентраций железа и алюминия.

Таблица 3. Результаты обработки воды сульфатом алюминия (доза 8,2 мг/дм³) и известью

Показатель очищенной воды	Доза извести, мг/дм ³ по Ca(OH) ₂				
	5,2	5,9	6,0	6,6	6,7
рН	5,2	5,9	6,0	6,6	6,7
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	18,0	17,5	19,3	16,3	17,7
Мутность фильтрата, мг/дм ³	6,0	11,0	12,5	11,4	10,0
Цветность фильтрата, градусы цветности	30	25	25	35	48
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	1,6	0,9	1,0	1,8	2,4
Алюминий в фугате*, мг/дм ³	0,80	0,09	0,07	0,15	0,60
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	1,1	0,6	0,7	1,0	1,2

Примечание: * – условия центрифугирования: продолжительность 5 мин, n = 8000 об/мин.

Для получения воды более высокого качества исследовалось применение флокулянтов и вспомогательных реагентов, позволяющих увеличить гидравлическую крупность образуемых хлопьев и повысить их адгезию к фильтрующей загрузке. Обработка воды с использованием полиакриламидных флокулянтов серии Праестол и ПАА проводилась в следующем порядке:

1. Смешение воды после первичного хлорирования с раствором коагулянта в течение 5–10 секунд при градиенте $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
2. Смешение воды с раствором извести (рабочая концентрация 22,4 г/дм³ по Ca(OH)₂) в течение 3 минут при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
3. Смешение воды с раствором флокулянта в течение 30 секунд при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
4. Флокуляционное перемешивание в течение 15 минут при $G = 30 \text{ с}^{-1}$.
5. Отстаивание при $U_0 = 0,4 \text{ мм/с}$.
6. Фильтрация осветленной воды через кварцевый песок, высота загрузки 200 мм.

Результаты обработки воды представлены в табл. 4 и 5. Представленные данные свидетельствуют о том, что при совместном использовании сульфата алюминия, известкового молока и флокулянтов серии Праестол 2500, 2510, 611, 650, а также ПАА достигается качество очистки воды до нормативных показателей. При этом

эффективная доза флокулянтов серии Праестол в 4 раза ниже, чем эффективная доза ПАА при одинаковом качестве очистки воды.

Представленные данные свидетельствуют о том, что при совместном использовании алюможелезного коагулянта, известкового молока и флокулянтов серии Праестол 2500, 611 достигается качество очистки воды до нормативных показателей сопоставимых с аналогичными показателями при использовании сульфата алюминия. При этом окисляемость очищенной воды ниже, чем при использовании сульфата алюминия.

Таблица 4. Результаты обработки воды сульфатом алюминия (доза 8,2 мг/дм³), известью (доза 9 мг/дм³) и флокулянтами

Показатели	Марка флокулянта											
	Праестол										ПАА	
	2500		2510		2540		611		650			
Доза флокулянта, мг/дм ³	0,1	0,4	0,1	0,4	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	
рН	6,0	6,1	6,0	6,1	6,1	6,0	6,1	6,0	6,1	6,0	6,1	
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	1,8	2,3	2,3	1,5	12,8	3,5	2,4	3,9	1,9	8,7	6,1	
Мутность фильтрата, мг/дм ³	1,0	0,75	1,2	0,90	5,8	1,0	0,75	1,0	0,70	2,3	1,2	
Цветность фильтрата, градусы цветности	25	15	17	19	21	17	16	15	16	36	19	
Окисляемость фильтрата, мгО ₂ /дм ³	3,9	5,0	3,9	4,7	4,8	4,6	4,6	3,8	5,0	3,9	3,9	
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	0,12	0,13	0,15	0,11	0,88	0,16	0,14	0,18	0,16	0,36	0,12	
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	0,09	0,08	0,09	0,10	0,47	0,07	0,10	0,06	0,10	0,16	0,06	

Таблица 5. Результаты обработки воды алюможелезным коагулянтом (доза 8,2 мг/дм³), известью и флокулянтами (доза 0,1 мг/дм³)

Показатели	Марка флокулянта Праестол					
	2500		2510	611		650
Доза извести, мг/дм ³ по Са(ОН) ₂	7	9	9	7	9	9
рН	5,5	6,3	6,3	5,5	6,2	6,2
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	4,1	3,0	3,5	1,7	2,0	2,0
Мутность фильтрата, мг/дм ³	1,2	0,3	0,9	0,5	0,5	0,2
Цветность фильтрата, градусы цветности	20	15	16	16	16	16
Окисляемость фильтрата, мгО ₂ /дм ³	4,1	3,6	3,8	3,6	3,4	3,3
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	0,62	0,15	0,24	0,19	0,15	0,24
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

С целью уменьшения доз коагулянта и извести, а так же повышения качества очищенной воды был апробирован вариант с использованием вспомогательных реагентов ВПК-402 и «Экозоль-401». Обработка воды с этими реагентами проводилась по следующей методике:

1. Смешение воды с раствором извести (рабочая концентрация 22,4 г/дм³ по Са(ОН)₂) в течение 5–10 секунд при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
2. Смешение сырой воды после первичного хлорирования с раствором коагулянта (доза 4,5 мг/дм³ по Al₂O₃, концентрация рабочего раствора 32,3 г/дм³ по Al₂O₃) в течение 3 минут при градиенте $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
3. Смешение воды с раствором ВПК-402 (доза 1,5 мг/дм³, рабочая концентрация 10 г/дм³) в течение 5–10 секунд при $G=250 \text{ с}^{-1}$.
4. Смешение воды с реагентом «Экозоль-401» (доза 5 мг/дм³, рабочая концентрация 50 г/дм³) в течение 5–10 секунд при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
5. Флокуляционное перемешивание в течение 15 минут при $G = 30 \text{ с}^{-1}$.
6. Отстаивание при $U_0=0,4 \text{ мм/с}$.
7. Фильтрация осветленной воды через кварцевый песок, высота загрузки 200 мм.

Результаты обработки воды представлены в табл. 6.

Данный вариант реагентной обработки воды позволяет снизить дозу коагулянта до 4,5 мг/дм³ по Al₂O₃ и известкового молока до 2 мг/дм³ по Ca(OH)₂, при этом в очищенной воде снижается остаточное содержание алюминия и железа. Однако наблюдается высокая мутность осветленной воды.

С целью интенсификации процессов хлопьеобразования и осаждения было рассмотрено влияние добавок высокомолекулярных флокулянтов серии Праестол (0,05 мг/дм³) к раствору ВПК-402. Результаты экспериментов приведены в табл. 7.

Таблица 6. Влияние дозы извести на качество очистки воды в присутствии вспомогательных реагентов

<i>Показатель</i>	<i>Доза извести, мг/дм³ по Ca(OH)₂</i>		
	<i>5,7</i>	<i>6,5</i>	<i>6,7</i>
рН	5,7	6,5	6,7
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	16,5	4,9	4,8
Мутность фильтрата, мг/дм ³	0,7	1,3	1,3
Цветность фильтрата, градусы цветности	16	24	29
Окисляемость фильтрата, мгО/дм ³	4,2	5,8	7,9
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	0,05	0,15	0,19
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	0,03	0,12	0,13

Таблица 7. Влияние добавки флокулянтов серии Праестол на качество очищенной воды

<i>Показатель</i>	<i>Марка флокулянта Праестол</i>		
	<i>2500</i>	<i>611</i>	<i>650</i>
рН	6,3	6,3	6,3
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	4,4	3,0	2,8
Мутность фильтрата, мг/дм ³	0,3	0,4	0,2
Цветность фильтрата, градусы цветности	21	19	23
Окисляемость фильтрата, мгО/дм ³	4,3	4,2	4,4
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	0,13	0,13	0,16
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	0,01	0,01	0,01

Из полученных данных видно, что небольшие добавки ($0,05 \text{ мг/дм}^3$) флокулянтов серии Праестол позволяют значительно интенсифицировать процессы хлопьеобразования и осаждения. Наиболее эффективно проявили себя катионные Праестолы 611 и 650, они позволили снизить мутность осветленной воды с $16,5 \text{ мг/дм}^3$ до $3,0 \text{ мг/дм}^3$.

Для повышения технологичности процесса реагентной обработки воды (при использовании сульфата алюминия и реагента «Экозоль-401») были проведены эксперименты с коагулирующей смесью (КС), которая была получена путем смешения концентрированного раствора сульфата алюминия и суспензии реагента «Экозоль-401». Для интенсификации процессов хлопьеобразования и осаждения применялись флокулянты серии Праестол и ПАА.

Обработка воды с использованием коагулирующей смеси проводилась по следующей схеме:

1. Смешение сырой воды после первичного хлорирования с раствором коагулирующей смеси в течение 5–10 секунд при градиенте $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
2. Смешение воды с раствором извести (рабочая концентрация $22,4 \text{ г/дм}^3$ по $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в течение 3 минут при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
3. Смешение воды с раствором флокулянта в течение 30 секунд при $G = 250 \text{ с}^{-1}$.
4. Флокуляционное перемешивание в течение 15 минут при $G = 30 \text{ с}^{-1}$.
5. Отстаивание при $U_0 = 0,4 \text{ мм/с}$.
6. Фильтрация осветленной воды через кварцевый песок, высота загрузки 200 мм.

Результаты обработки воды представлены в табл. 8.

Использование коагулирующей смеси упрощает процесс дозирования реагентов с сохранением высокого качества очистки воды.

Одноступенчатая схема. Для проведения исследований отбирались пробы сырой воды после первичного хлорирования. Исследования технологических процессов водоподготовки по одноступенчатой схеме проводили на стендовой установке, состоящей из набора колонок с различной высотой фильтрующего слоя и стенда с пьезодатчиками. Площадь фильтрования $0,00314 \text{ м}^2$, скорость фильтрования $6,4 \text{ м/ч}$, направление движения воды снизу вверх, высота фильтрующего слоя $0,445$; $0,270$; $0,075 \text{ м}$. В качестве фильтрующего материала использовался кварцевый песок (поставщик – ОАО «Спецнефтематериалы», г. Волгоград), фракция $0,8$ – $2,0 \text{ мм}$. Колонка с высотой фильтрующего слоя $0,445 \text{ м}$ была оборудована пьезометрами для

измерения потери напора по высоте загрузки. В ходе проведения экспериментов определялось качество фильтрата (по мутности) и замерялись потери напора по высоте фильтрующей загрузки. Расчет скорости проникновения хлопьев вглубь загрузки и скорости потери напора проводился по методике технологического моделирования [1, 2].

Таблица 8. Результаты обработки воды коагулирующей смесью (доза 8,2 мг/дм³ по Al₂O₃), известью и флокулянтами

Показатель	Марка флокулянта						
	ПАА	ПАА	Праестол				
			2500	2510	2540	611	650
Доза флокулянта, мг/дм ³	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Доза извести, мг/дм ³ по Ca(OH) ₂	0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
рН	5,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Мутность осветленной воды, мг/дм ³	10,2	3,0	3,8	10,6	26,2	2,8	2,1
Мутность фильтрата, мг/дм ³	1,2	0,3	0,5	3,6	17,9	1,0	0,5
Цветность фильтрата, градусы цветности	22	24	22	19	17	16	20
Окисляемость фильтрата, мгО/дм ³	4,8	4,6	4,7	4,8	4,4	4,4	4,5
Алюминий в фильтрате, мг/дм ³	0,61	0,18	0,10	0,70	0,90	0,14	0,12
Железо (общее) в фильтрате, мг/дм ³	0,09	0,01	0,01	0,15	0,22	0,04	0,01

Качество очищенной воды определялось по следующим показателям: цветность (методом колориметрии), мутность, железо (общее), алюминий, окисляемость.

На первом этапе были проведены эксперименты по выбору оптимальных условий очистки воды при ее обработке коагулянтами, флокулянтами и вспомогательными реагентами. Результаты представлены в табл. 9.

В ходе экспериментов было установлено, что введение соды ухудшает процесс контактного осветления (снижает адгезию хлопьев к загрузке). Мутность фильтрата превышает нормативное значение 1,5 мг/дм³. Оптимальная доза коагулянта 3,6 мг/дм³

по Al_2O_3 , снижение дозы коагулянта (до $3,0 \text{ мг/дм}^3$) вызывает ухудшение качества фильтрата. При увеличении дозы до $4,5 \text{ мг/дм}^3$ уменьшается продолжительность фильтроцикла. Повышение дозы флокулянта ВПК-402 (с $1,5$ до $2,0 \text{ мг/дм}^3$) также вызывает снижение продолжительности фильтроцикла, что связано с изменением адгезионных свойств образуемой взвеси.

Таблица 9. Выбор доз реагентов для базового варианта

№ цикла	Наименование и доза реагента, мг/дм ³				Продолжительность фильтроцикла, час
	Сода	СА	ВПК-402	Экозоль-401	
1	3	3,6	1,5	2	0 (низкое качество фильтрата)
2	–	3,6	1,5	2	0,875
3	–	3,0	1,5	2	0 (низкое качество фильтрата)
4	–	4,5	1,5	2	0,375
5	–	3,6	2,0	2	0,375

Примечание: * – высота загрузки $0,445 \text{ м}$.

С целью увеличения продолжительности фильтроциклов рассмотрен вариант обработки воды с использованием флокулирующих смесей, состоящих из двух компонентов – флокулянтов ВПК-402 и серии Праестол. При обработке воды флокулирующими смесями доза коагулянта составляла $3,6 \text{ мг/дм}^3$ по Al_2O_3 , доза ВПК-402 – $1,5 \text{ мг/дм}^3$, доза флокулянтов серии Праестол варьировалась в пределах от $0,02$ до $0,05 \text{ мг/дм}^3$, доза реагента «Экозоль-401» – 2 мг/дм^3 . Результаты экспериментов представлены в табл. 10.

Результаты экспериментов показали, что в качестве добавок к ВПК-402 наиболее эффективны катионные флокулянты Праестол 611 TR и 650 TR. На основании полученных данных определены скорость проникновения хлопьев вглубь загрузки и скорость потери напора в зависимости от дозы флокулянтов и скорости фильтрования (v_f) (табл. 11).

Таблица 10. Результаты обработки воды флокулирующими смесями

Флокулянты	Доза (мг/дм ³) по Праестолу	Продолжительность фильтроцикла, ч	
		<i>H</i> = 0,445 м	<i>H</i> = 0,270 м
Праестол 2500 + ВПК-402	0,020	0	0
	0,040	0,38	0
Праестол 611 TR +ВПК-402	0,025	1,25	–
	0,040	1,63	1,04
	0,050	2,38	1,13
Праестол 650 TR + ВПК-402	0,020	0,88	0
	0,040	1,88	1,13

Примечание: *H* – высота фильтрующего слоя.

Таблица 11. Влияние добавок катионных флокулянтов серии Праестол на параметры фильтрования

Флокулянт	Доза, мг/дм ³	Скорость проникновения хлопьев вглубь загрузки, м/ч		Скорость потери напора, м/ч	
		$v_{\phi}=6,4$ *	$v_{\phi}=3,0$ **	$v_{\phi}=6,4$	$v_{\phi}=3,0$
Базовый вариант СА + ПАА	–	0,95	0,26	0,08	0,01
СА + Праестол 611 TR	0,025	0,68	0,19	0,11	0,01
	0,040	0,51	0,14	0,20	0,08
	0,050	0,34	0,09	0,34	0,13
СА + Праестол 650 TR	0,020	0,95	0,26	0,06	0,01
	0,040	0,46	0,13	0,37	0,16

Примечания: * – скорость фильтрования на модели контактного осветлителя; ** – проектная скорость фильтрования на контактных осветлителях блока № 3.

Оптимальным условием работы контактных осветлителей является равенство продолжительности фильтроциклов по качеству фильтрата и продолжительности исчерпания располагаемого напора. При условии равенства высоты фильтрующей загрузки и высоты располагаемого напора, что в основном практикуется на сооружениях водоподготовки, оптимальность реагентной обработки определяется равенством скорости проникновения хлопьев вглубь загрузки и скорости потери

напора. Определены оптимальные количества флокулянтов, при которых достигалось равенство указанных выше скоростей.

Установлено, что оптимальная доза флокулянта Праестол 611 TR больше, чем Праестол 650 TR. Полученные данные позволили рассчитать продолжительность фильтроциклов для оптимальных доз флокулянтов по сравнению с базовым вариантом при разных высотах загрузки. Результаты расчетов представлены в табл. 12.

Таблица 12. Прогнозируемая продолжительность фильтроциклов при базовом и предлагаемых вариантах обработки воды

Флокулянт	Продолжительность фильтроцикла, ч	
	$H=1,8\text{ м}$	$H=2,0\text{ м}$
Базовый вариант	7	8
Праестол 611 TR	16	18
Праестол 650 TR	12	14

Примечание: H – высота фильтрующего слоя.

Использование флокулирующей смеси позволяет в 1,7–2,3 раза увеличить продолжительность фильтроцикла по сравнению с базовым вариантом.

Таким образом, найдены оптимальные условия объемной и контактной коагуляции воды из поверхностных источников с получением воды высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
2. Мельцер В.З. Фильтровальные сооружения в коммунальном водоснабжении. М.: Стройиздат, 1995. 176 с.

Сведения об авторах:

Свиридов Алексей Владиславович, к. т. н, доцент кафедры физической, органической химии и нанодисперсных технологий Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), 620032, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: asv1972@mail.ru;

Никифоров Александр Федорович, д. х. н., профессор кафедры водного хозяйства и технологии воды Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: vupper@rambler.ru;

Елизаров Валерий Анатольевич, аспирант кафедры физической, органической химии и нанодисперсных технологий УГЛТУ, г. Екатеринбург, e-mail: asv1972@mail.ru;

Воронина Оксана Сергеевна, студентка пятого курса инженерно-экологического факультета УГЛТУ, г. Екатеринбург, e-mail: asv1972@mail.ru.