

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGY

2.1 Рекомендации по применению алюминий- и железосодержащих композиционных коагулянтов флокулянтов для очистки природных речных вод и производственных сточных вод

Аннотация. Коагуляция - важный процесс очистки воды и промышленных сточных вод. Коагуляция - наиболее распространенный метод очистки природных и сточных вод от основной массы коллоидных, мелкодисперсных и частично растворенных загрязнений. Приведены характеристики разработанных авторами новых композиционных флокулянтов-коагулянтов АКФК и ЖКФК в сравнении с традиционными солями алюминия и железа. Приведены характеристики природных вод, по которым исследована эффективность использования полученных флокулянтов-коагулянтов. Приведено сравнение коагулирующей способности коагулянтов при очистке воды высокой окраски из реки Орша и средней окраски из рек Волга и Тверца. В работе предпринята попытка оценки влияния магнитной обработки разработанных композиционных флокулянтов-коагулянтов. На основе проведенных исследований и производственных испытаний разработаны рекомендации по применению алюминий- и железосодержащих композиционных флокулянтов-коагулянтов для очистки природных речных вод и производственных сточных вод

Ключевые слова: коагуляция; флокуляция; композиционные флокулянты-коагулянты; АКФК; ЖКФК; очистка воды.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов системы современного водоснабжения является водоочистной комплекс. В настоящее время происходит интенсивное расширение использования различных водных источников, в том числе, и не используемых ранее. Продолжается антропогенное и техногенное практически бесконтрольное загрязнение водоемов, а требования к качеству используемой

воды повышаются. Многие промышленные предприятия не имеют очистных сооружений и сбрасывают сточные воды в природные водоемы без очистки. Например, по приблизительным подсчетам около 5 млн м³ хозяйственно-бытовых сточных вод сбрасываются в водоемы России без очистки и 4,2 млн м³ - с недостаточной очисткой. Вода в природных водоисточниках часто загрязняется высокотоксичными веществами. В результате сегодня в целом ряде стран и регионов многие природные водоемы оказались сильно загрязнены, что привело к невозможности их дальнейшего использования для различных целей и в первую очередь для хозяйственно-питьевого водоснабжения [113,114,116,117].

Вопросы очистки природных вод, совершенствование существующих и разработка новых методов и технологий водоподготовки приобретают первостепенное значение. Одним из наиболее широко используемых методов водоподготовки в системах, использующих воду из открытых источников, является метод коагуляционной обработки воды. Коагуляция представляет собой процесс укрупнения дисперсных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Масштабы использования коагуляционного метода обработки загрязненных вод ежегодно расширяются.

При проведении процесса коагуляции решения основная технологическая задача очистки воды от коллоидно-дисперсных загрязнений. Помимо этого, с использованием метода коагуляции можно добиться удаления некоторых растворенных в воде примесей и улучшить качество обрабатываемой воды.

Наиболее распространенной в мире является очистка производственных сточных вод с использованием минеральных коагулянтов (солей алюминия и железа) и флокулянтов. Основным назначением коагулянтов и флокулянтов является увеличение размера частиц за счет их агрегации и повышение эффективности дальнейшей очистки воды методами фильтрации, отстаивания или флотации. Очистка воды коагулянтами и флокулянтами применяется для удаления поверхностно-активных веществ, коллоидных и тонкодисперсных загрязнений. К ним относятся гидрофобные вещества, такие как нефтепродукты,

масла и жиры; гидрофильные вещества, такие как гумусовые соединения, полисахариды, белки и лигнин; а также органические соединения и минеральные примеси, к которым относятся глинистые частицы, оксиды и карбонаты различных металлов. Одновременно может происходить удаление из воды растворенных органических и минеральных загрязнений, которые способны адсорбироваться продуктами гидролиза коагулянтов или вступают в химическое взаимодействие с коагулянтами и флокулянтами с образованием трудно растворимых соединений. Такими веществами являются соли гуминовых и фульвокислот, анионные и катионные ПАВ, красители, фосфаты, комплексные соединения тяжелых металлов и т. д.

Среди реагентов, применяемых при коагуляционной очистки сточных вод, наиболее распространенными являются неорганические коагулянты. Это обусловлено доступностью, наличием большой сырьевой базы, низкой стоимостью и высокой эффективностью. В последние годы стали производить новые виды неорганических коагулянтов с улучшенными техническими характеристиками, что способствует расширению применимости коагуляционного метода и увеличению его эффективности. Кроме того, расширяется ассортимент органических и неорганических флокулянтов. Различные флокулянты могут применяться как самостоятельно, так и совместно с коагулянтами, расширяет возможности данного метода и делает его незаменимой частью технологических процессов очистки воды. Ранее нами были разработаны композиционные флокулянты-коагулянты на основе растворимых соединений алюминия и кремния, а также железа и кремния [118]. Для совмещения несовместимых соединений алюминия, железа и кремния была разработана технология их матричной изоляции, которая позволила получать эти продукты в твердом виде [119,120]. Такая форма разработанных материалов позволяет их хранить длительное время, безопасно перевозить и быстро использовать в местах применения.

Настоящая работа является продолжением серии наших статей, посвященных очистке сточных вод композиционными коагулянтами-

флокулянтами, получаемых на основе разработанной нами технологии их производства в воде удобном для их хранения, транспортировки и использования на различных объектах очистки природных и сточных вод [121-129].

В настоящей работе проанализированы характеристики загрязнений сточных вод, удаляемых с применением новой группы реагентов - композиционных коагулянтов-флокулянтов. Рассмотрена эффективность их применения для очистки сточных и природных вод. Обоснованы и представлены способы выбора наиболее эффективного реагента и совершенствования коагуляционно-флокуляционной очистки сточных вод. Выработаны рекомендации по применению алюминий- и железосодержащих композиционных флокулянтов-коагулянтов для очистки природных речных вод и производственных сточных вод.

В данной статье представлены рекомендации по применению производимых алюминий и железосодержащих коагулянтов для очистки природных речных и производственных сточных вод. Рекомендации разработаны на основе результатов исследований их коагулирующей способности, представленной в ранее опубликованных работах [122,125,128,129]. В представленной статье, для обоснования рекомендаций по применению коагулянтов АКФК и ФКФК, продемонстрированы результаты их дополнительных исследований.

2.1.1 Обоснование выбранного направления исследований

Одним из способов повышения эффективности очистки природных и сточных вод является использование новых высокоэффективных реагентов, которые отвечали бы следующим требованиям:

- высокая коагулирующая и флокулирующая активность;
- удобство и простота использования;
- низкая стоимость.

Этим требованиям по своим товарным характеристикам и химическому составу вполне удовлетворяют испытанные коагулянты АКФК и ФКФК, которые представляют собой порошкообразные реагенты, хорошо растворимые в воде, разбавленные растворы которых устойчивы в процессе хранения. Кроме того, коагулянты АКФК и ФКФК в отличие от сернокислых солей алюминия и железа содержат соединения кремния и должны проявлять свойства коагулянта и флокулянта.

В этой связи в данной работе были проведены исследования эффективности применения данных реагентов для очистки природных вод и нефтесодержащих сточных вод, для которых широко применяется коагуляционный метод, на основании которых разработаны рекомендации по применению коагулянтов АКФК и ФКФК.

Во второй половине прошлого века как в России, так и за рубежом появилось множество работ посвященных использованию магнитных полей с целью интенсификации различных технологических процессов, связанных с водными системами. Метод привлекателен своей технологической простотой и незначительными затратами при внедрении. Методика магнитной обработки в общем случае заключается в пропускании воды или водных систем (пульпы, растворов реагентов, суспензий) через магнитные поля [132].

В ряде случаев оказывается полезной магнитная обработка не только растворов реагентов, а также безводных реагентов. Например, обработка раствора олеата натрия увеличивает адсорбцию этого реагента на фосфорите, флюорите, доломите и кварце. Также обработка водного раствора жидкого стекла усиливает подавляющую способность этого реагента [130-132].

По данным [132] при коагуляции взвесей скорость их оседания повышается, при этом возрастает и водопроницаемость осадка на фильтрах. С уменьшением забивки пор фильтровальной ткани повышается скорость фильтрации и увеличивается срок службы ткани. Также в работах [132,] было установлено, что после магнитной обработки воды скорость оседания содержащихся в ней тонкодисперсных взвесей увеличивается на 20÷90%. Такой

положительный эффект проявляется и в случае добавления коагулянтов, таких как сульфат железа, сульфат алюминия и др., к воде, прошедшей магнитную обработку. При этом наблюдается уменьшение электрокинетического потенциала коллоидных растворов гидроксидов алюминия и др. [132,133]. Однако при очень высокой мутности воды (выше 500 мг/л) эффект незначителен [134].

Необходимо подчеркнуть, что физическая сущность процессов, происходящих при магнитной обработке воды и водных систем, еще не выяснена. Существующие по этому вопросу гипотезы сводятся к представлениям об изменении структуры воды под действием магнитного поля. Есть много весьма разноречивых сведений об изменениях в магнитном поле таких свойств воды, как вязкость, плотность, электропроводность, поверхностное натяжение и некоторых других. Для систем очистки воды реагентными методами особый интерес представляют следующие наблюдения: эффективность магнитной обработки воды возрастает с повышением в ней концентрации различных ионов; в результате магнитной обработки сильно изменяется поверхностное натяжение растворов ряда химических соединений; смачиваемость минералов водой после воздействия на нее магнитного поля также изменяется; при определенных режимах магнитной обработки значительно возрастает химическая активность растворенного в воде кислорода [132].

В данной работе предприняли попытку оценки влияния магнитной обработки наших композиционных флокулянтов-коагулянтов. Обработку реагентов проводили в магнитных полях, которые создаются с использованием электромагнитов, с напряженностью магнитного поля до 2000—3000 Э.

В этой связи в данной работе были проведены исследования влияния подобной магнитной обработки разработанных реагентов для очистки природных вод и нефтесодержащих сточных вод, для которых широко применяется коагуляционный метод, на основании которых разработаны рекомендации по применению коагулянтов АКФК и ФКФК.

2.1.2 Методики и объекты исследований

2.1.2.1 Объекты исследований

В работе были использованы известные стандартные методы исследований и анализа, которые изложены в предыдущих отчетах. Эффективность коагулянтов оценивали по степени снижения загрязненности воды и величине оптимальной дозы, при которой достигается наибольшее снижение мутности, цветности, содержания нефтепродуктов. Одновременно осуществляли контроль за величиной pH очищаемой воды. В случае применения железного купороса и коагулянта ФКФК корректировку pH воды до оптимальных величин (9,2-9,8) осуществляли с применением 0,4% раствора NaOH. Коагулянты дозировали в очищаемую воду в виде 1% водных растворов (по оксиду алюминия или железа).

Эффективность коагулянтов определяли методом пробного коагулирования на лабораторной установке «Капля» с механическим перемешиванием по схеме: смешение, хлопьеобразование и отстаивание. Смешение осуществляли в течение одной мин при среднем градиенте скорости $G=500 \text{ с}^{-1}$, хлопьеобразование в течение 5 мин при $G=50 \text{ с}^{-1}$. Отстаивание осуществляли в течение 5 мин для выделения загрязнений с гидравлической крупностью более 0,03 мм/с.

Эксперименты проводили на реальной природной или сточной воде, описанной в работе [122]. Природная вода имела мутность в пределах от 10 до 25,6 мг/л, цветность от 85 до 288 градусов по хром-кобальтовой шкале, при pH в диапазоне от 7,48 до 7,78. Сточная нефтесодержащая вода имела мутность от 47 до 154 мг/л, содержание нефтепродуктов от 5,5 до 140 мг/л, при pH в диапазоне от 6,9 до 7,6.

Характеристики исследованных коагулянтов представлены в работе [128]. Эффективность коагулянтов АКФК и ФКФК сравнивалась с эффективностью железного купороса и сульфата алюминия. Дозы коагулянтов измеряли в мг/л по оксиду алюминия или железа. В данной статье представлены также результаты дополнительных экспериментов по сравнению эффективности использования

для очистки природных вод, активированных при разных частотах импульсного магнитного поля и исходных образцов АКФК и ФКФК. Активирование продуктов в магнитном поле осуществлялось по методике описанной в [132].

2.1.2.2 Методика пробного коагулирования

Методика пробного коагулирования позволяет осуществить выбор коагулянта или флокулянта, определить его оптимальную дозу и эффективность применения для очистки исследуемой воды.

Сущность метода пробного коагулирования заключается в обработке воды реагентами в цилиндрах или стаканах при определенном стандартном режиме смешения и хлопьеобразования, либо в условиях, имитирующих коагуляционную очистку на существующих очистных сооружениях. На действующих очистных сооружениях для пробного коагулирования можно применять любой способ, принятой на станции, при условии что он дает достаточно хорошее совпадение доз, определяемых в лаборатории и требуемых для нормальной работы сооружений. Если эти дозы значительно расходятся между собой, то в методику должны быть внесены соответствующие коррективы по изменению интенсивности, времени, способа перемешивания.

Смешение обычно осуществляется механической мешалкой, сначала быстро для равномерного распределения реагента в воде, затем медленно для создания крупных, быстро оседающих хлопьев загрязнений, подвергнутых коагуляции. Для этой цели применяются специальные установки «Капля» и «Джар-тест», позволяющие обрабатывать одновременно до 6 проб сточной воды и осуществлять перемешивание механическими мешалками с регулируемым числом оборотов в интервале от 10 до 200 *об/мин* (рисунки 1,2). Допускается перемешивание на магнитной мешалке или вручную (стеклянной палочкой, перевертыванием цилиндра).



Рисунок 1. Установка пробного коагулирования «Капля»

Критерием эффективности реагента и выбора оптимальной дозы является минимальное время осаждения (всплывания) образующихся хлопьев, качество отстоянной сточной воды (прозрачность, мутность, содержание нефтепродуктов, взвешенных веществ и других загрязнений), объем и характеристики образующегося осадка. При этом в течение всего времени отстаивания (до 30 мин) ведутся визуальные наблюдения за процессом осветления, отмечается время появления мелких, крупных хлопьев и полного осветления.



Рисунок 2. Установка Jar Test для проведения коагуляционных испытаний

При проведении опытов по коагулированию воды разные дозы коагулянта добавляют в стаканы с неочищенной водой в виде 1-5% растворов, а флокулянта - в виде 0,1-0,05 % водных растворов. Дозы реагентов варьируют в интервале, охватывающим предполагаемую оптимальную дозу. Для сильнозагрязненной воды интервал доз расширяется в сторону увеличения.

Дозы реагентов принимаются по активной части или по товарному продукту. Для сопоставления эффективности разных реагентов более целесообразно сравнивать их расходы по активному веществу. Пересчет доз реагентов на товарные продукты и объемы дозируемых растворов коагулянтов и флокулянтов производится по формулам:

$$D_{cr} = \frac{D_{act} \cdot 100}{C_r} \quad (1)$$

где D_{cr} - доза товарного реагента, $кг/м^3$ сточной воды, D_{act} - доза реагента по активному веществу, кг на м сточной воды, C_r - концентрация товарного продукта по активному веществу, вес.%.

Для реагентов в жидком виде дозу товарного продукта в объемных единицах можно найти по формуле:

$$V_{cr} = \frac{D_{act} \cdot 100}{\rho \cdot C_r} \quad (2)$$

где V_{cr} - доза жидкого товарного реагента, $м^3/м^3$ сточной воды, ρ - плотность товарного продукта, $кг/м^3$.

Плотность дозируемых 1-5 % водных растворов коагулянтов определяется ареометром или принимается по справочникам. Плотность разбавленных 0,1 и 0,05 % водных растворов флокулянтов мало отличается от плотности воды и может быть принята равной 1.

2.1.2.3 Определение оптимальной дозы коагулянта или флокулянта при самостоятельном применении

В 6 лабораторных стаканов с неочищенной водой (объемом 0,5; 1,0; 1,5 или 2,0 *литра*) добавляют разные дозы коагулянта или флокулянта, перемешивают быстро при 150 *об/мин* в течение 1 *мин*, а затем медленно при 50 *об/мин* в течение 5-10 *мин*. При этом образуются крупные хлопья. Образование мелких хлопьев может быть, если данных коагулянт неэффективен или неоптимальная величина pH в случае использования неорганических коагулянтов или недостаточное время перемешивания. В последнем случае следует дополнительно медленно перемешать пробы воды, обработанные коагулянтом, в течение 5-10 *мин*. Для корректировки pH следует одновременно или после добавления коагулянта в сточную воду ввести раствор щелочного реагента в виде 1 - 5 % раствора. Расход щелочного реагента (D_{alk}) в зависимости от его вида для компенсации кислотности, вносимой коагулянтом, определяется по формуле:

$$D_{alk} = K \frac{D_c}{M} \quad (3)$$

где D_c - доза коагулянта, *мг/л*; M - эквивалентная (молекулярная) масса коагулянта, *мг/мг-моль*; K - эквивалентная масса щелочного реагента, *мг/мг-экв.*

После окончания перемешивания образовавшиеся хлопья оставляют оседать. Время осаждения выбирают исходя из скорости оседания хлопьев в интервале от 1 до 30 *мин*. Качество очищенной воды оценивается визуально или количественно по требуемому показателю (цветности, мутности, содержанию нефтепродуктов и т. д.). Для этого требуемый для анализа объем сточной воды отбирается сифоном из каждого стакана. Полученные результаты вносят в таблицы. Зависимости основных показателей качества очищенной сточной воды от дозы коагулянта или флокулянта для наглядности можно выразить графически. Оптимальная доза коагулянта соответствует той дозе, при которой

достигается максимальный или требуемый эффект осветления воды при наименьшей или заданной продолжительности отстаивания.

2.1.2.4 Определение оптимальной дозы флокулянта при совместном применении с коагулянтом

В шесть лабораторных стаканов с неочищенной водой (объемом 0,5; 1,0; 1,5 или 2,0 *литра*) добавляют одну и ту же дозу коагулянта (оптимальную или меньше оптимальной на 25-50 %), найденную, как показано в п. 1, содержимое стаканов быстро перемешивают при 150 *об/мин* в течение 1 мин, затем добавляют разные дозы флокулянта в изучаемом интервале доз, дополнительно интенсивно перемешивают при 150 *об/мин* в течение 1 *мин*, затем медленно при 50 *об/мин* в течение 5-10 *мин*. Дальнейшее отстаивание отбор и анализ проб проводят также, как в п. 2.1.

2.1.3 Экспериментальная часть

2.1.3.1 Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК для очистки природных вод

Исследования по коагуляции, проводились на речных водах рек Орши, Волги и Тверцы, и имеющих низкую мутность. Образцы имеют различную цветность и отбирались в районе г. Твери. Исследования проведены с применением коагулянтов АКФК и ФКФК и базовых коагулянтов, сульфата алюминия (СА) и сульфата железа (II) [128], при этом получены следующие общие результаты.

Основным показателем, определяющим дозы коагулянтов, является исходная цветность природной воды. Оптимальная доза коагулянтов АКФК и СА увеличивается с увеличением цветности исходной воды (рисунок 3). Вид коагулянта влияет на оптимальную дозу при высокой цветности исходной воды. Для очистки воды реки Орши, имеющей высокую цветность, коагулянт АКФК

требуется в меньшей дозе, чем СА. Для вод рек Тверца и Волга со средней цветностью, дозы реагентов АКФК и СА одинаковы.

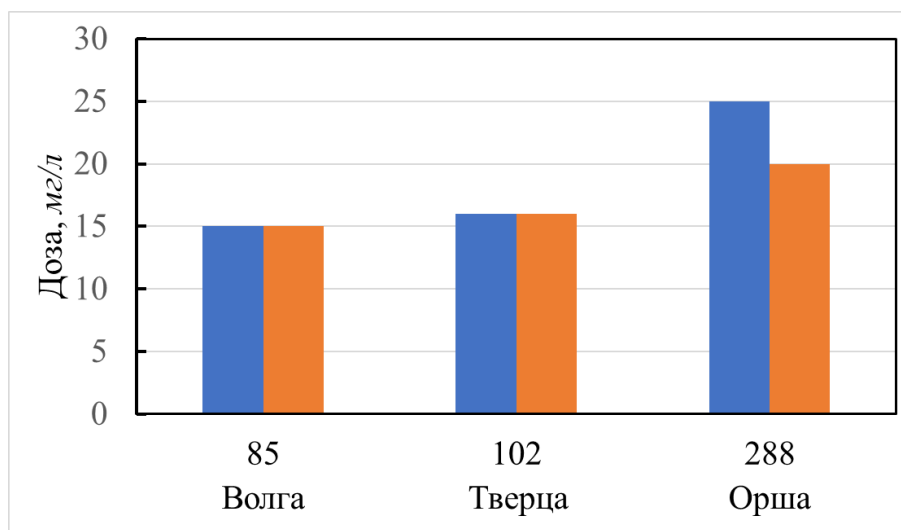


Рисунок 3. Зависимость оптимальной дозы коагулянта от исходной цветности речной воды

Эффективность снижения цветности и мутности исходной воды в значительной степени зависит от вида коагулянта. Как показали исследования, железосодержащие коагулянты ФКФК и сульфат закисного железа (ЖС) в отличие от алюминий содержащих коагулянтов непригодны для очистки цветных природных вод, поскольку ионы Fe^{2+} образуют цветные растворимые комплексы с гуминовыми и фульвокислотами. В результате цветность исходной воды при увеличении дозы коагулянта сначала повышается, а затем начинает снижаться, но остается значительно выше требуемых норм (рисунок 4).

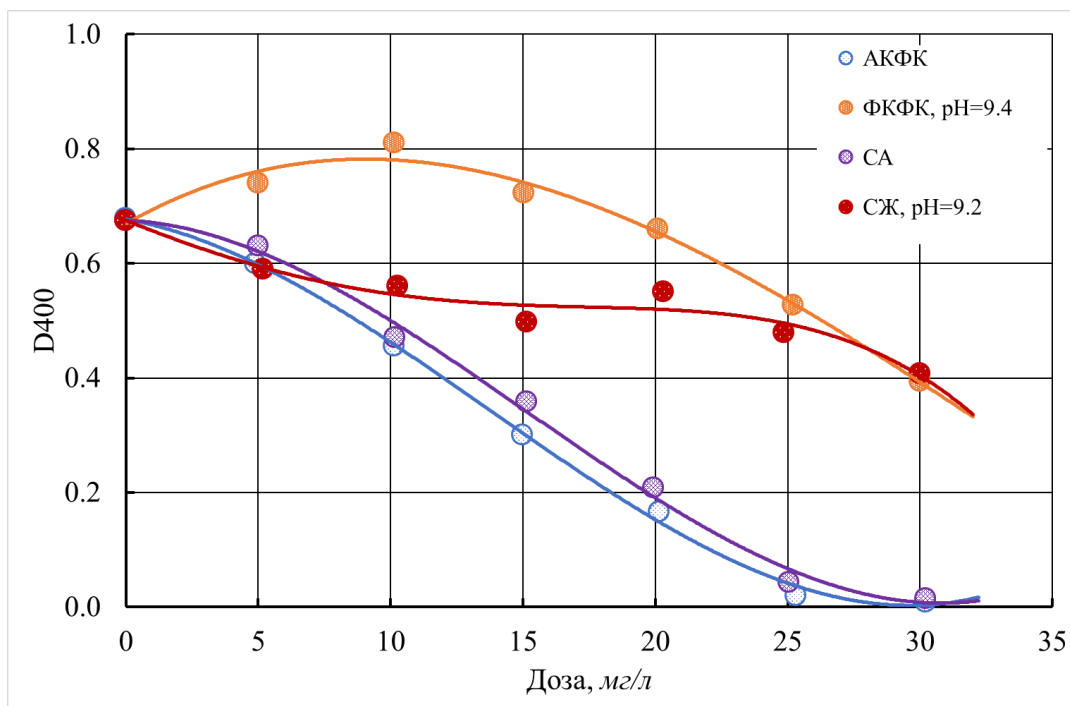


Рисунок 4. Зависимость цветности (D 400) коагулированной и отстаивной воды р. Орши

Наибольшее снижение мутности и цветности достигается при обработке воды оптимальными дозами алюминий содержащих коагулянтов АКФК и сульфата алюминия (рисунок 5). Причем, дополнительное введение катионного флокулянта Праестол 650 снижает мутность очищаемой воды в большей степени при совместном применении с АКФК, чем с сульфатом алюминия.

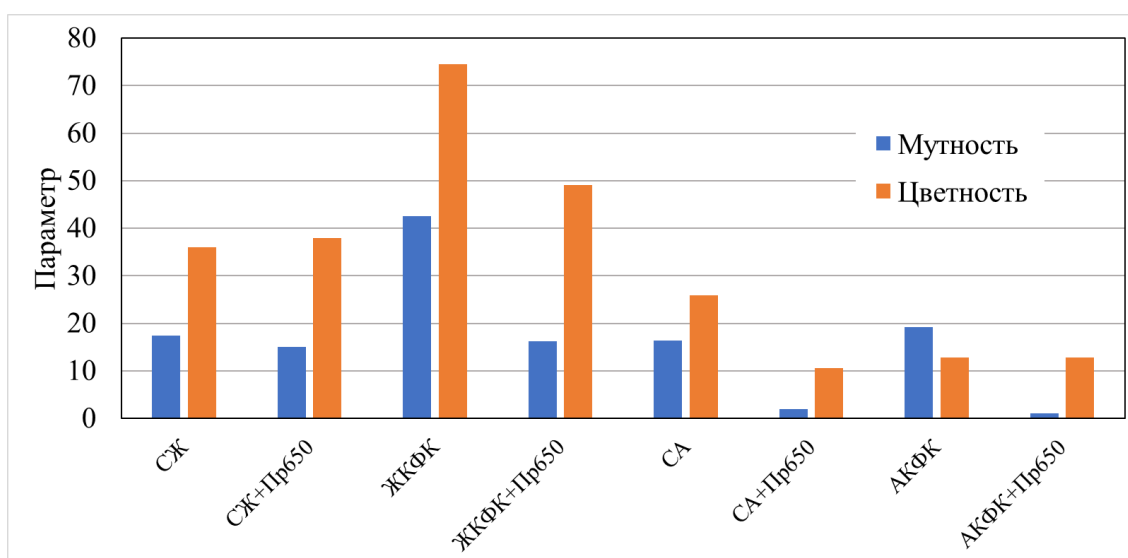


Рисунок 5. Эффективность снижения цветности и мутности волжской воды коагулянтами (15 мг/л) и совместно с Праестол 650 (0,75 мг/л)

Однотипный характер зависимости мутности отстоянной после коагулирования воды от дозы коагулянтов, которая проходит через максимум (рисунок 6) при использовании железо- и алюмосодержащих коагулянтов, свидетельствует об одинаковом механизме коагуляции вод с высокой цветностью. Ведущая роль принадлежит химическим взаимодействиям коагулянта с гуминовыми и фульвокислотами, определяющими цветность очищаемой воды, что приводит к образованию нерастворимых и растворимых полимерных комплексов. Вследствие этого при увеличении дозы коагулянта оптическая плотность очищаемой воды сначала увеличивается до максимума, при котором происходит полное связывание гуминовых и фульвокислот в полимерные комплексы, после чего скорость процесса их коагуляции и осаждения становятся преобладающими и оптическая плотность воды начинает снижаться. Следует также отметить, что для композиционных коагулянтов АКФК и ФКФК максимальная величина оптической плотности и скорость ее снижения выше, чем для однокомпонентных базовых коагулянтов, что, очевидно, обусловлено более высокой численной концентрацией и большими размерами частиц, образующихся в результате взаимодействия продуктов гидролиза коагулянта и гумат-сульфатных полимерных комплексов.

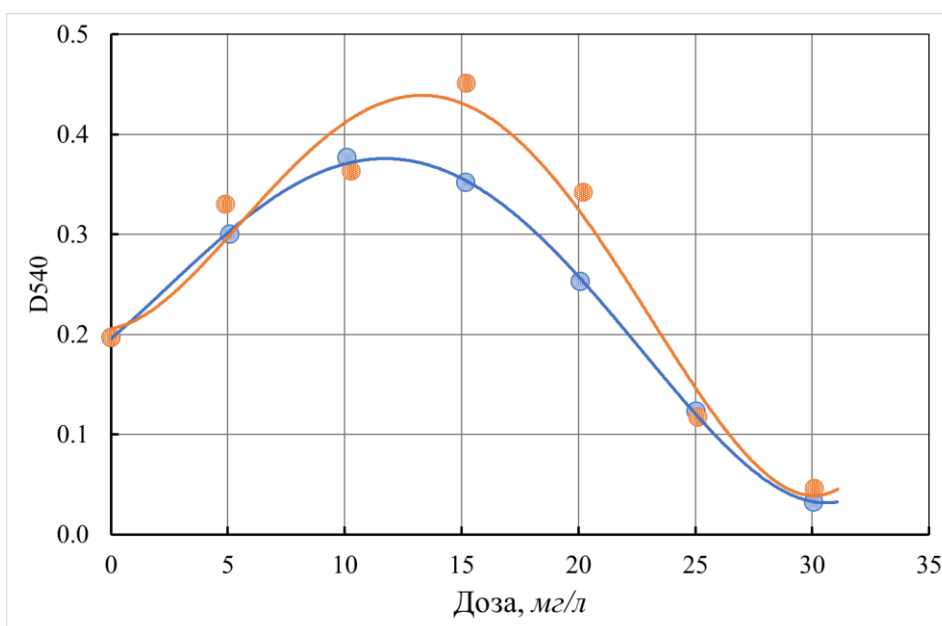


Рисунок 6, зависимость мутности (D_{540}) коагулированной и отстоянной воды р. Орши с применением АКФК и СА

Активированный коагулянт АКФК эффективнее, чем неактивированный коагулянт АКФК снижают мутность и цветность очищаемой воды при дозах, меньше оптимальных (рисунок 5 и 6). Активированный ФКФК еще больше увеличивает цветность исходной воды по сравнению с неактивированным коагулянт ФКФК (рисунок 8 и 9), что может использоваться для выделения из воды растворенных загрязнений, образующих нерастворимые комплексы с коагулянт. В тех же условиях активированный АКФК обеспечивает более низкую мутность и цветность очищенной воды, по сравнению с неактивированным коагулянт (рисунок 10). Можно предположить, что активация в магнитных полях оказывает воздействие на изменение структуры гидроксокомплексов железа, поскольку они обладают ферромагнитными свойствами.

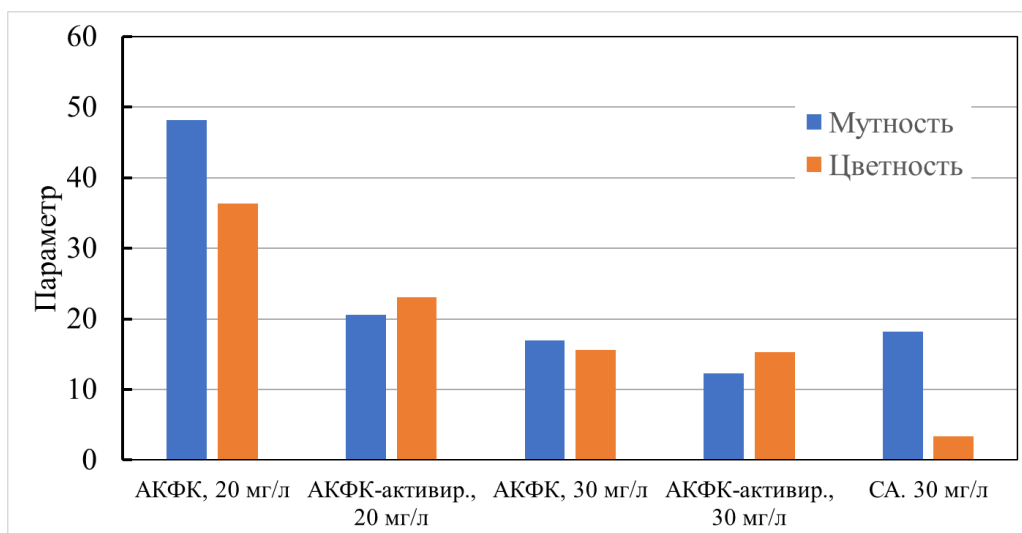


Рисунок 7. Коагуляция воды р. Орша при температуре 10 град (исходная мутность 25 мг/л, цветность 260 град, доза 20-30 мг/л, активация)

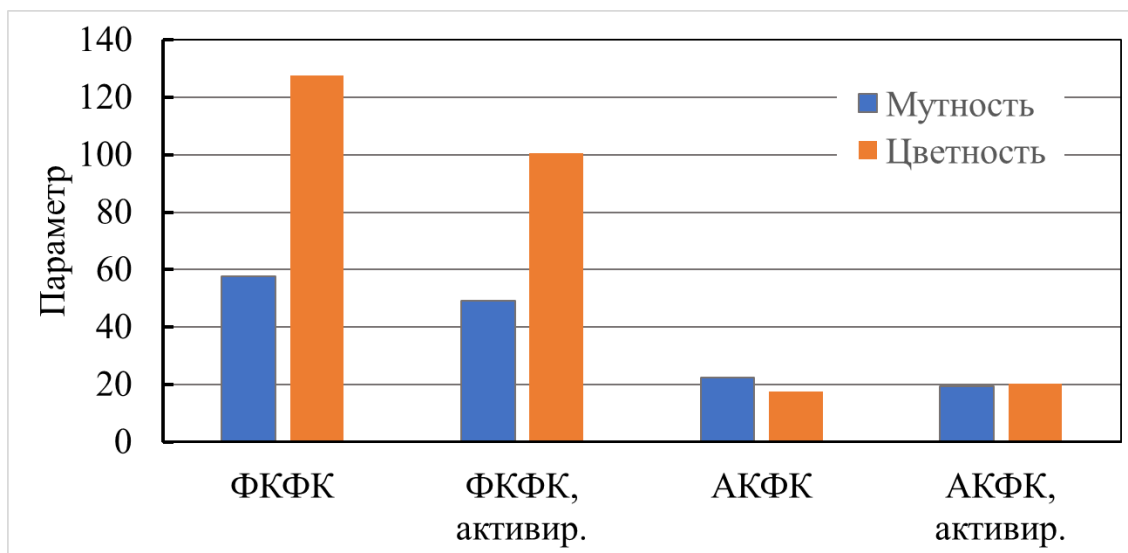


Рисунок 8. Коагуляция Волжской воды при температуре 10 град
(исходная мутность 10 мг/л, цветность 85 град, доза 15 мг/л, активация)

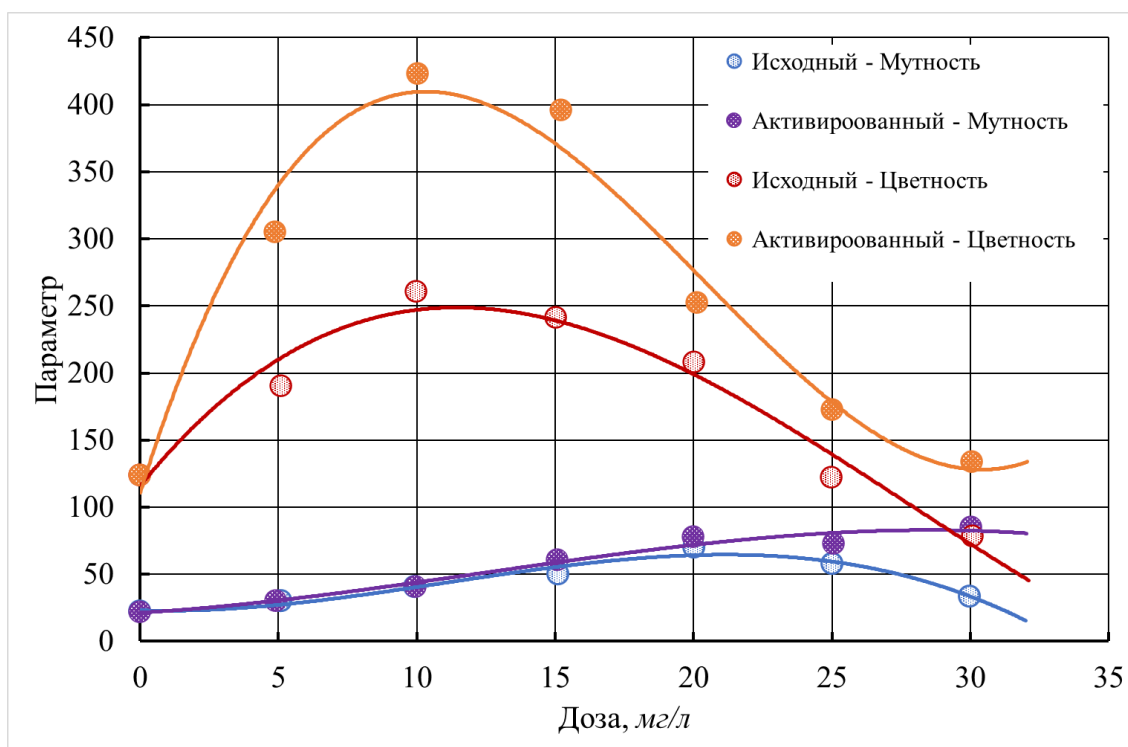


Рисунок 9. Зависимость мутности и цветности подземной воды от дозы
ФКФК активированного и неактивированного

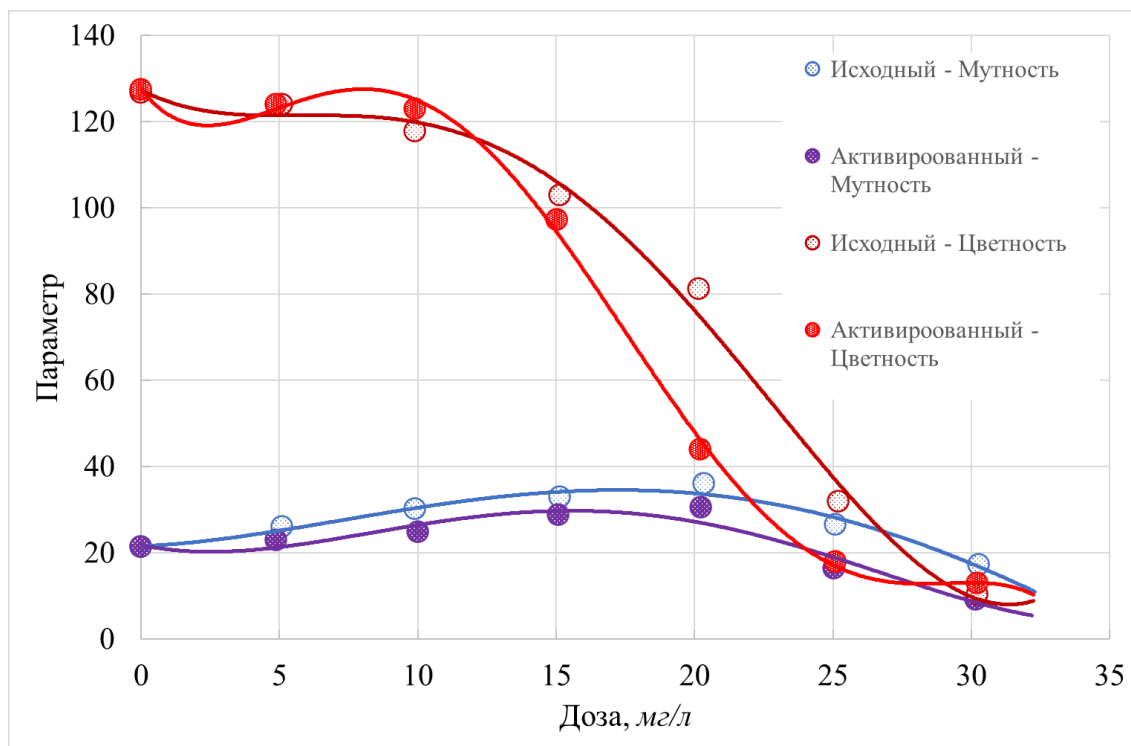


Рисунок 10. Зависимость мутности отстоянной и цветности фильтрованной подземной воды от дозы АКФК до и после активации

Таким образом, для очистки цветных вод с низкой мутностью может использоваться коагулянт АКФК до и после его активации в магнитном поле. Эффективность применения АКФК значительно выше, а дозы на 20-30% ниже, чем сульфата алюминия при совместном использовании с катионным флокулянт Праестол 650, а также при очистке цветных вод с высокой цветностью 260-300 град и с низкой мутностью. Характеристики отстоянной речной воды после коагуляционной очистки с применением оптимальных доз коагулянтов АКФК и СА представлены в табл. 1.

Таблица 1. Эффективность применения коагулянта АКФК и СА совместно с Праестол 650 для очистки природных вод отстаиванием

Река	Коагулянт*	Доза, мг/л	Мутность**, мг/л	Цветность**, град	рН**	Эффект снижения мутности, %	Эффект снижения цветности, %
Тверца	СА	15	4,7/12	17/102	6,2/7,78	61	83,3
	АКФК	15	4,7/12	17/102	6,6/7,78	61	83,3
Волга	СА	15	2/10	10,6/85	6,7/7,75	80	87,5
	АКФК	15	1,3/10	12,7/85	6,5/7,75	87	85,1
Орша	СА	20	8/25,6	36/288	5,9/7,48	68,7	87,5
	АКФК	25	7,3/25,6	25,5/288	6,3/7,48	71,5	91,1

*- Отношение доз коагулянт/флокулянт =20;

** - в числителе показатель качества воды после очистки, в знаменателе – до очистки

2.1.3.2 Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК для очистки нефтесодержащих сточных вод

Полученные результаты по эффективности снижения содержания взвешенных веществ (мутности) и нефтепродуктов в сточных водах различных видов [122] позволяют сделать следующие выводы.

1. Оптимальные дозы коагулянтов АКФК, ФКФК и базовых коагулянтов одинаковы при очистке сточных вод одного состава. Дозы железосодержащих коагулянтов равны или меньше оптимальных доз алюмосодержащих коагулянтов (табл. 2).

Коагулянт ФКФК может применяться только для очистки природных вод с низкой цветностью.

2. Коагулянт АКФК и СА обладают примерно одинаковой эффективностью для снижения содержания нефтепродуктов в исследованных сточных водах, а в сочетании с катионным флокулянтом Праестол 650 коагулянт АКФК лучше снижает мутность, чем сульфат алюминия (рисунок 11).

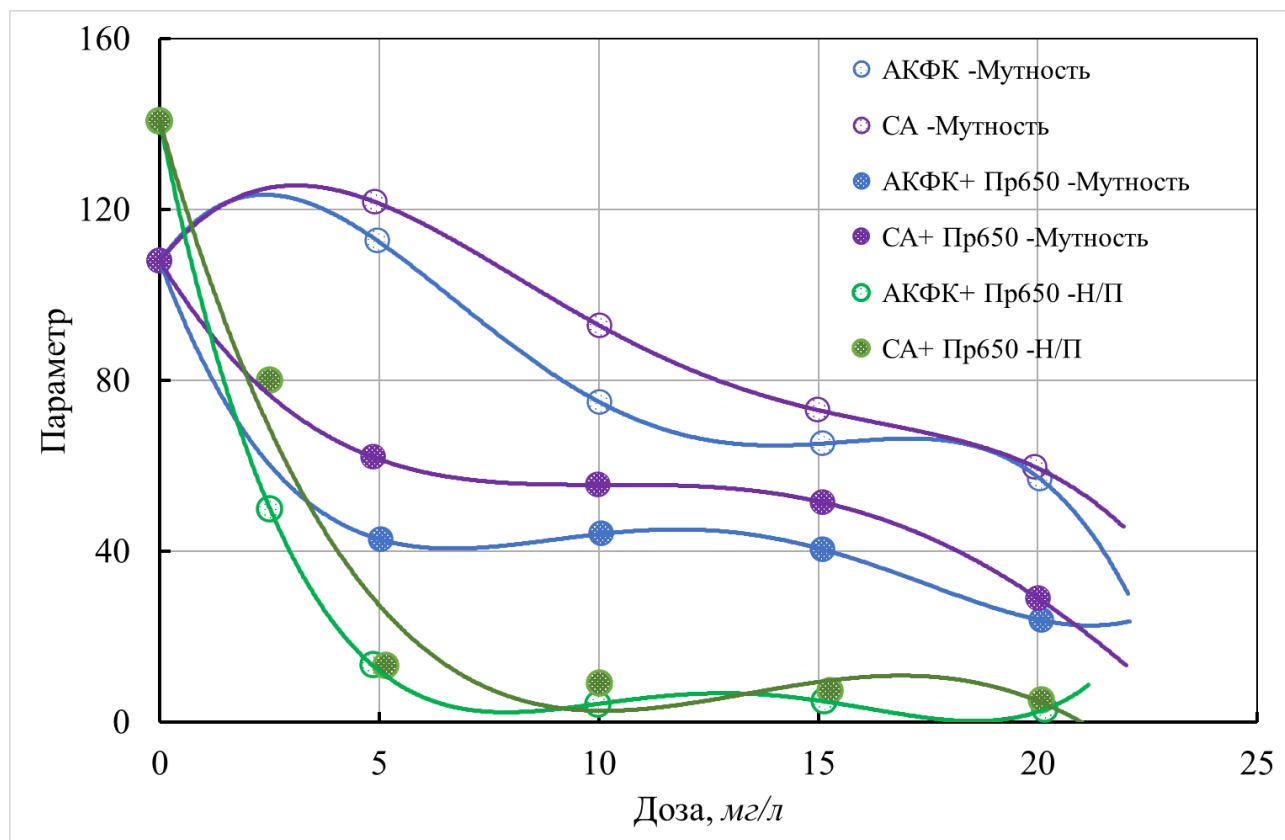


Рисунок 11. Зависимость качества отстоянной после коагуляции сточной воды автомойки от дозы алюмосодержащих коагулянтов без флокулянта и с флокулянтом Праестол 650 при их отношении 10:1 и рН=6,4-7,0

3. При использовании ФКФК содержание нефтепродуктов в очищенной воде значительно ниже, чем при применении железного купороса (рисунок 12, табл. 2).

Таблица 2. Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК совместно с Праестол 650 для очистки нефтесодержащих сточных вод отстаиванием

Сточная вода	Коагулянт*	Доза, мг/л	Мутность**, мг/л	Нефтепродукты**, мг/л	рН**	Эффект снижения мутности, %	Эффект снижения нефтепродуктов, %
НПЗ	СА	20	6/47	2,3/5,5	6,9/7,48	87,2	58
	АКФК	20	9/47	2,5/5,5	6,9/7,48	80,9	54,5
	же	10	8,7/47	4,3/5,5	8,5/7,48	81,5	22
	ФКФК	10	8,7/47	2,8/5,5	8,5/7,48	81,5	49
		20	8/47	2,1/5,5	8,5/7,48	83	61,8
Автомойка	СА	5	61 /107	10,6/140	6,5/7,1	43	92,4
	АКФК	5	43/107	10,6/140	6,5/7,1	60	92,4
	же	5	38/75	2,4/50,5	9,9/7,1	49	95,2
	ФКФК	5	28/75	0,98/50,5	10,2/7,1	63	98,1
Пром. ливневая	СА	10	26/154	7,4/83	5,9/7,6	83	87,5
	АКФК	10	26/154	7,3/83	6,3/7,6	83	91,1
	же	5	36/84	3,95/47	10,3/7,6	57	91,6
	ФКФК	5	22/84	2,25/47	10,1/7,6	74	95,2

*- Отношение доз коагулянт/флокулянт 10;

** - в числителе показатель качества воды после очистки, в знаменателе - до очистки

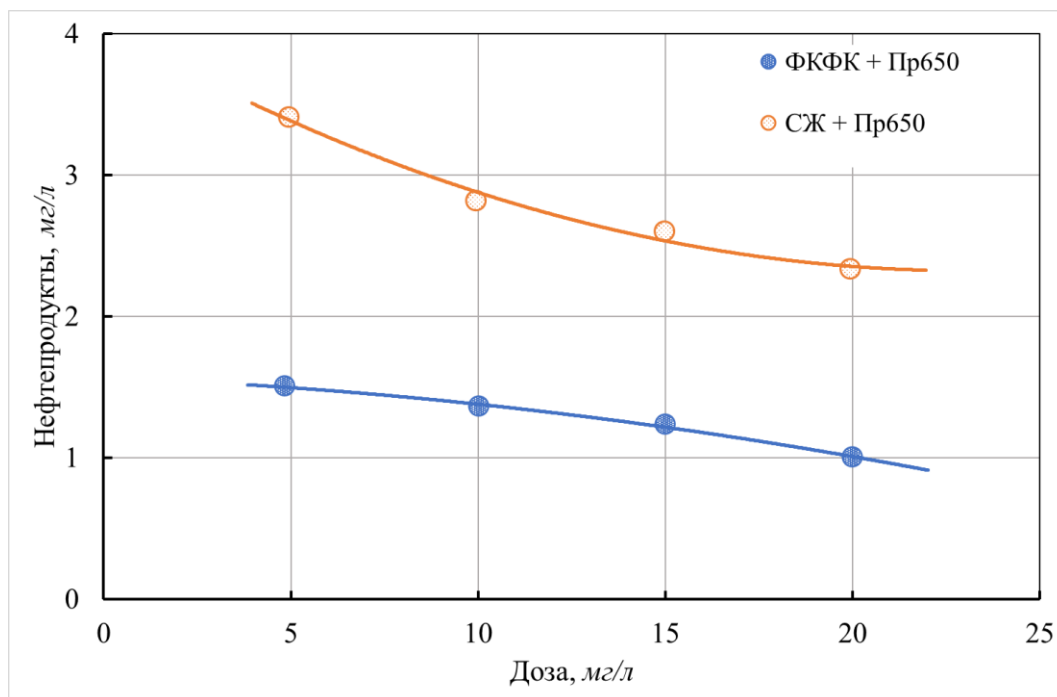


Рисунок 12. Зависимость содержания нефтепродуктов в отстоянной сточной воде автомойки от дозы коагулянтов при совместном применении с флокулянтom Праестол 650 при их отношении 10:1 и pH=9,8-10,4. Содержание нефтепродуктов в исходной воде=50,5 мг/л

2.1.4 Рекомендации по применению коагулянтов АКФК и ФКФК для очистки природных речных вод и производственных сточных вод

2.1.4.1 Общие положения

Коагулянты АКФК и ФКФК (ТУ 2163-001-3578061-08) производятся в ООО НПП «Тривектр» на основе сульфата алюминия и сульфата закисного железа соответственно в присутствии солей кремниевой кислоты и представляют порошкообразные продукты, хорошо растворимые в воде. Растворы коагулянтов имеют кислую среду, устойчивы при хранении.

Коагулянты АКФК и ФКФК, также как и другие алюмо- и железосодержащие коагулянты, предназначены для укрупнения тонкодисперсных взвешенных загрязнений и выделения растворимых загрязнений, способных вступать в химические взаимодействия с коагулянтами

с образованием нерастворимых веществ с целью их последующего отделения отстаиванием, фильтрованием или флотацией [113].

2.1.4.2 Область применения коагулянтов

1. Коагулянты АКФК и ФКФК рекомендуется применять в технологических схемах очистки природных и сточных вод отстаиванием, флотацией и фильтрованием. Для смешения реагентов с водой и формирования хлопьев требуемого размера схемы очистки, также как и с применением традиционных коагулянтов, должны включать смесители и камеры хлопьеобразования [114].

2. Коагулянт АКФК может применяться вместо сульфата алюминия для интенсификации очистки природных и сточных вод на существующих очистных сооружениях.

3. Коагулянт ФКФК может применяться на существующих очистных сооружениях вместо железного купороса для интенсификации очистки природных вод и сточных вод, в том числе нефтесодержащих сточных вод. Коагулянт ФКФК, также как и железный купорос, не рекомендуется применять для очистки цветных вод, содержащих гумусовые кислоты.

4. При осветлении воды отстаиванием коагулянты АКФК и ФКФК рекомендуется применять совместно с катионными флокулянтами типа Праестол 650 при соотношении доз реагентов, равном 20:1 для природных вод и 10:1 для сточных вод.

2.1.4.3 Приготовление и дозирование растворов коагулянтов АКФК и ФКФК

1. Коагулянты АКФК и ФКФК рекомендуется дозировать в очищаемую воду в зависимости от расхода в виде 1-5% растворов по оксиду алюминия или железа.

2. Требуемое количество товарного продукта G (кг), необходимое для приготовления 1000 кг раствора коагулянта нужной процентной концентрации вычисляют по формуле:

$$G = 1000 \frac{C_{Dos}}{C_{Com}} \quad (4)$$

где C_{Dos} и C_{Com} - процентные концентрации дозируемого рабочего раствора и товарного продукта по оксиду металла.

3. Расход рабочего раствора коагулянта ($Q_{раб}$) для обеспечения требуемой дозы коагулянта $D_{коаг}$ для очистки воды определяют по формуле:

$$Q_w[kg \cdot h^{-1}] = \frac{Q_{aq}[m^3 \cdot h^{-1}] \cdot D_{coag}[mg \cdot l^{-1}]}{10 \cdot C_{Dos} [\%]} \quad (5)$$

$$Q_w[l \cdot h^{-1}] = \frac{Q_w[kg \cdot h^{-1}]}{\rho} \quad (6)$$

где ρ - плотность дозируемого раствора коагулянта.

4. Приготовление растворов АКФК и ФКФК может осуществляться с применением того же технологического оборудования, что и коагулянтов сульфатов алюминия и железа (II) [115].

5. Ввиду наличия в коагулянтах нерастворимых примесей дозирование приготовленных растворов АКФК и ФКФК может осуществляться с применением тех же дозирующих насосов, что и коагулянтов - сульфата алюминия и железа двухвалентного, но после предварительного отстаивания приготовленных растворов.

2.1.4.4 Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК

Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК для очистки природных и сточных вод одного и того же состава сопоставима с эффективностью сульфата алюминия и железного купороса соответственно при равных или меньших дозах АКФК и ФКФК (по оксиду алюминия или железа).

Дозы реагентов и эффективность коагуляционной очистки природных вод и нефтесодержащих сточных вод по схеме: смешение, хлопьеобразование, отстаивание, с применением коагулянтов АКФК и ФКФК и соответствующих базовых коагулянтов, сульфата алюминия и сульфата железа закисного, представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Эффективность применения коагулянта АКФК и СА совместно с Праестол 650 для очистки природных вод отстаиванием

Река	Коагулянт*	Доза по Al_2O_3 , мг/л	Мутность**, мг/л	Цветность**, град	рН**	Эффект снижения мутности, %	Эффект снижения цветности, %
Тверца	СА	15	4,7/12	17/102	6,2/7,78	61	83,3
	АКФК	15	4,7/12	17/102	6,6/7,78	61	83,3
Волга	СА	15	2/10	10,6/85	6,7/7,75	80	87,5
	АКФК	15	1,3/10	12,7/85	6,5/7,75	87	85,1
Орша	СА	20	8/25,6	36/288	5,9/7,48	68,7	87,5
	АКФК	25	7,3/25,6	25,5/288	6,3/7,48	71,5	91,1

*- Отношение доз коагулянт/флокулянт =20;

** - в числителе показатель качества воды после очистки, в знаменателе - до очистки

Таблица 4. Эффективность применения коагулянтов АКФК и ФКФК совместно с Праестол 650 для очистки нефтесодержащих сточных вод отстаиванием
(с корректировкой величины рН очищаемой воды)

Сточная вода	Коагулянт*	Доза по оксиду металла, мг/л	Мутность**, мг/л	Нефте продукты**, мг/л	рН**	Эффект снижения мутности, %	Эффект снижения нефтепродуктов, %
НПЗ	СА	20	6/47	2,3/5,5	6,9/7,48	87,2	58
	АКФК	20	9/47	2,5/5,5	6,9/7,48	80,9	54,5
	же	10	8,7/47	4,3/5,5	8,5/7,48	81,5	22
	ФКФК	10	8,7/47	2,8/5,5	8,5/7,48	81,5	49
		20	8/47	2,1/5,5	8,5/7,48	83	61,8
Авто-мойка	СА	5	61 /107	10,6/140	6,5/7,1	43	92,4
	АКФК	5	43/107	10,6/140	6,5/7,1	60	92,4
	же	5	38/75	2,4/50,5	9,9/7,1	49	95,2
	ФКФК	5	28/75	0,98/50,5	10,2/7,1	63	98,1
Промыш-ленная	СА	10	26/154	7,4/83	5,9/7,6	83	87,5
	АКФК	10	26/154	7,3/83	6,3/7,6	83	91,0
	же	5	36/84	3,95/47	10,3/7,6	57	91,6
	ФКФК	5	22/84	2,25/47	10,1/7,6	74	95,2

*- Отношение доз коагулянт/флокулянт =10;

** - в числителе показатель качества воды после очистки, в знаменателе - до очистки

Оптимальные дозы и величины рН (в пределах от 6,5 до 7,5) при очистке воды коагулянтom АКФК находятся в том же интервале величин, что и при использовании сернокислого алюминия и должны уточняться в каждом конкретном случае методом пробного коагулирования (см. раздел 2.2). Оптимальные дозы и величины рН (в пределах 9-9,5) при очистке воды коагулянтom ФКФК находятся в том же интервале величин, что и при использовании закисного сернокислого железа и должны уточняться в каждом конкретном случае методом пробного коагулирования, (см. раздел 2.2).

Корректировку pH можно осуществлять растворами щелочных реагентов (едкого натра, известкового молока и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены коагулирующие свойства коагулянтов АКФК и ФКФК и разработаны рекомендации по их применению для очистки природных и сточных вод. Экспериментально показано, что композиционный флокулянт АКФК эффективнее сульфата алюминия при очистке высокоцветных и среднецветных маломутных вод по показателю цветности при равных или меньших дозах. Одновременное достижение высокого показателя очистки воды отстаиванием по цветности и мутности достигается при применении АКФК совместно с флокулянт Праестол 650 при соотношении коагулянт : флокулянт=20.

Композиционный коагулянт ФКФК и сульфат железа не обеспечивают требуемого эффекта очистки природных вод по цветности даже в щелочной среде, что делает их применение для этих целей нецелесообразным.

Экспериментально показано, что композиционный флокулянт ФКФК является самым эффективным коагулянтом из испытанных коагулянтов (СА, СЖ, АКФК, ФКФК) для очистки нефтесодержащих сточных вод при его совместном применении с флокулянт Праестол 650. Композиционный коагулянт АКФК и сульфат алюминия обладают одинаковой эффективностью при очистке нефтесодержащих сточных вод.