

УДК 628.2

**Т.Я. ПАЗЕНКО, Т.А. КУРИЛИНА, А.В. ИВАНОВ, М.М. ТОЛПАРОВ,
Е.Л. ВОЙТОВ****ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПРОМЫВНЫХ ВОД СМЕШАННЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ**

Рассмотрена реагентная обработка промывной воды фильтров на водоочистных сооружениях из открытого источника водоснабжения. Дана оценка возможности применения минеральных коагулянтов, часто используемых при подготовке воды питьевого качества. Изучены свойства ряда новых реагентов и проведен их термогравиметрический анализ с помощью дифрактометра D8 ADVANCE (фирма Bruker, Германия) и прибора синхронного термического анализа STA 449 F1Jupiter (фирма NETZSCH, Германия). Построены термограммы коагулянтов. Показана эффективность различных реагентов и их смесей при обработке промывных вод фильтров. Исследована кинетика осаждения образующегося осадка при использовании коагулянтов. Экспериментально установлены наиболее эффективные смеси коагулянтов при обработке промывных вод фильтров.

К л ю ч е в ы е с л о в а: коагулянт, промывные воды, осадок, кинетика, термогравиметрический анализ, эффективность очистки.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-752-8-50-60

Одной из проблем водоподготовки является обработка сточных вод, образующихся в результате промывки фильтров. В настоящее время актуально совершенствование технологии обработки промывных вод с целью их повторного использования [1–3].

Для удаления из воды грубодисперсных и коллоидных минеральных примесей, органических и микробиологических загрязнений используют коагулянты. Наиболее распространенный коагулянт сернокислый алюминий обеспечивает достаточно стабильные показатели очищенной воды. Однако он имеет ряд недостатков. Разработка реагентосберегающей технологии очистки промывных сточных вод с комплексным использованием коагулянтов с целью их повторного применения является актуальной задачей, решение которой позволит получить высокие качественные показатели очищенной воды [4, 5].

На кафедре «Инженерные системы зданий и сооружений» СФУ были проведены экспериментальные исследования по обработке промывных вод фильтров водозабора «Гремячий Лог» г. Красноярск с помощью различных коагулянтов. Была исследована эффективность следующих коагулянтов:

сульфат алюминия (СА) с активной частью по Al_2O_3 18 %;

полиалюминия хлорид железа (ПАХЖ) с активной частью по Al_2O_3 не менее 28 % и $Fe_2O_3 \geq 2,5$ %;

© Пазенко Т.Я., Курилина Т.А., Иванов А.В., Толпаров М.М., Войтов Е.Л., 2021

полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат™30 (ПОХА) с активной частью по Al_2O_3 30 %;

Скиф-180 с активной частью по Al_2O_3 не менее 18 %.

Коагулянты в сравнении с традиционным реагентом СА обладают следующими преимуществами:

уменьшение времени коагуляции в 1,5–3,0 раза;

эффективная очистка воды в широком диапазоне температур от 1 до 9 °С;

значительное снижение или полное отсутствие остаточного алюминия в очищенной воде;

исключение или резкое уменьшение гипсовых отложений в технологическом оборудовании и трубопроводах;

возможность отказа от значительных доз флокулянтов;

снижение бактериального загрязнения до 98 %, что позволяет уменьшить до минимума дозу первичного хлорирования;

значительное уменьшение осадка в отстойниках;

более эффективная очистка от тяжелых металлов и нефтепродуктов.

С целью изучения свойств предлагаемых реагентов был проведен их термогравиметрический анализ с использованием дифрактометра D8 ADVANCE (фирма Bruker, Германия) и прибора синхронного термического анализа STA 449 F1Jupiter (фирма NETZSCH, Германия).

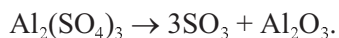
На рис. 1 представлены термограммы реагентов.

На кривой ДТА ПОХА (рис. 1, а) при температуре 238 °С наблюдается сложный эндоэффект, обусловленный поэтапной дегидратацией $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, проходящей с потерей примерно 67 % массы образца (кривая ТГ). Небольшой эндоэффект при температуре 842 °С относится к окислению примесей, присутствующих в образце.

На термограмме ПАХЖ (рис. 1, б) присутствуют три эндоэффекта (кривая ДТА), проходящих с потерей массы и относящихся к дегидратации образца. Эндоэффекты при температуре 192 и 297 °С указывают на удаление кристаллизационной воды, при температуре 455 °С – на дегидратацию коагулянта.

На кривой ДТА Скиф-180 (рис. 1, в) наблюдается ряд термических эффектов, проходящих с потерей массы образца (кривая ТГ). Широкий, сложный эффект при $t = 230$ °С относится к дегидратации $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Al}_5\text{Cl}_5(\text{OH})_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Широкий экзоэффект при температуре 574 °С (кривая ДТА) показывает окисление органической части образца, при этом масса образца уменьшается примерно на 6 % (кривая ТГ). При нагревании образца до 1000 °С его цвет менялся от черного при 500 °С, что указывает на присутствие органики, до серого при 700 °С, при 1000 °С образец стал белый (остался Al_2O_3). Экзоэффект при температуре 890 °С относится к окислению примесей (кривая ДТА).

Эндоэффект при 899 °С указывает на разложение сульфата алюминия (удаление SO_3) по реакции



В задачи исследования по обработке промывных вод фильтров входили определение наиболее эффективного реагента и исследование влияния различных композиций реагентов.

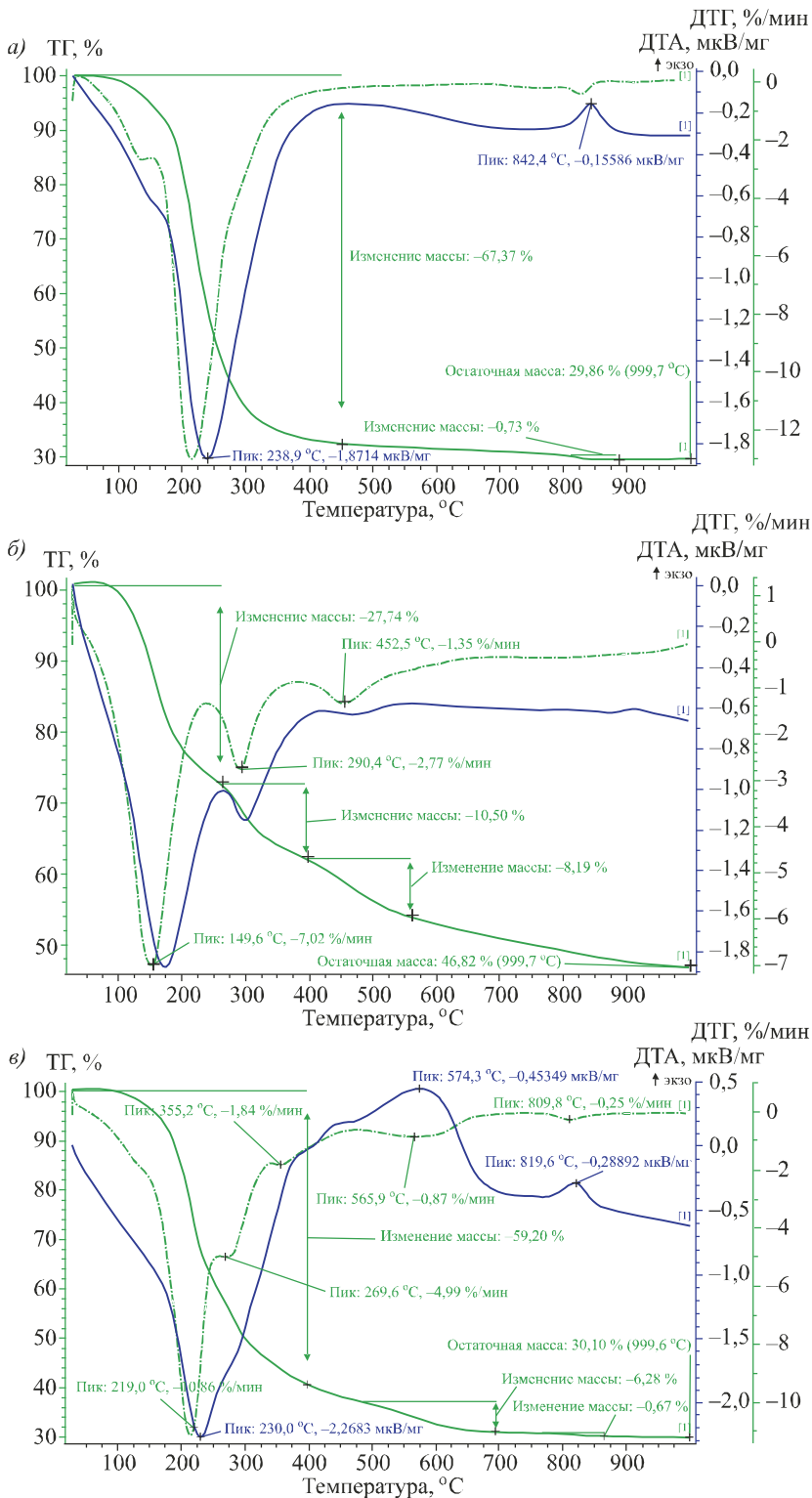


Рис. 1. Термограмма образца ПОХА (а), ПАЖЖ (б) и Скиф-180 (в)
 Кривая ТГ – изменение массы; ДТГ – скорость изменения массы; ДТА – дифференциальная термическая кривая

Таблица 1. Влияние вида коагулянта на эффективность очистки сточной воды

Коагулянт	Доза, мг/дм ³	рН после обработки	Мутность, мг/дм ³	Цветность, градус	Объем осадка, %
СА	5	6,8	1,451	18,163	4
ПОХА	5	6,2	1,12	15,269	2,4
ПАХЖ	5	7,6	<i>0,690</i>	13,073	3
Скиф-180	5	7,2	0,821	<i>4,99</i>	4,4
$C_{исх}$		7,07	64,36	10,978	–

Эксперимент проводили на промывной воде фильтров, отобранной во время паводка при промывке фильтров с температурой сточной воды 3,170 °С. Пробы объемом 500 мл обрабатывали коагулянтами в дозе 5 мг/дм³. В воду после добавления коагулянта для улучшения процесса хлопьеобразования вводили флокулянт Праестол в дозе 1 мг/дм³. Пробы перемешивали на флокуляторе марки ПЭ-0244*, скорость перемешивания пробы с коагулянтом составляла в первые 2 мин 240 об/мин, в последующие 2 мин – 60 об/мин. Реагенты вводили в виде растворов, содержащих 1 мг вещества в 1 мл воды.

Сточную воду с введенными в нее реагентами отстаивали в течение 2 ч, затем осадок отделяли от воды фильтрованием, а в обработанной таким образом сточной воде определяли мутность, цветность и рН. Анализы основных показателей качества воды были выполнены с использованием стандартных методик (табл. 1).

Анализ табл. 1 показывает, что рН обработанной воды меняется незначительно, но наибольшее его увеличение происходит при использовании ПАХЖ, а наибольший объем осадка у Скиф-180.

Значительное снижение мутности наблюдается при использовании ПАХЖ и Скиф-180. Наименьшее значение цветности дает Скиф-180, остальные коагулянты цветность увеличивают незначительно.

Как показали исследования, наилучшие результаты получены при использовании ПАХЖ и Скиф-180.

В результате реагентной обработки промывных сточных вод образуется осадок. Нами была изучена кинетика его осаждения. Исследования проводились при одном значении рН и дозе коагулянта (табл. 2).

Таблица 2. Кинетика осаждения осадка в зависимости от вида коагулянта, %

Время осаждения, мин	СА	ПОХА	ПАХЖ	Скиф-180
5	2	1,6	1,6	1
10	2,2	2,2	2	3
15	3	2,4	2,6	3,9
20	3,3	2,5	2,8	4,4
25	3,5	2,6	3	4,4
30	3,6	2,6	3	4,4
35	4	2,5	3	4,4
40	4	2,4	3	4,4

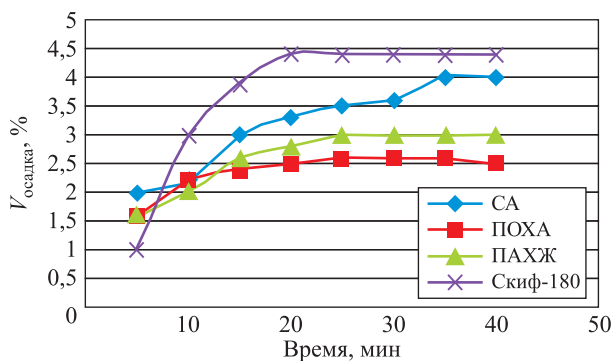


Рис. 2. Кинетика осаждения осадка в зависимости от вида коагулянта

По результатам табл. 2 построены графические зависимости осаждения осадка (рис. 2).

Наибольший объем осадка образуется при применении коагулянта Скиф-180, а наименьший – ПОХА. Во всех пробах высота слоя осадка постепенно увеличивалась примерно в течение 15–20 мин, а затем процесс стабилизировался и объем осадка практически не изменялся.

Из литературных источников [6–9] известно, что совместное применение коагулянтов при условии нахождения их оптимальных соотношений, режимов ввода и перемешивания с обрабатываемой водой позволяет в наибольшей степени использовать преимущества каждого реагента при одновременной эффективности процесса очистки и минимизировать недостатки коагулянтов.

Действие смесей электролитов на коллоидные системы специфично. При коагуляции зелей смесями электролитов они очень редко действуют независимо друг от друга (аддитивность). Чаще происходит противодействие их друг другу (антагонизм) либо усиление коагулирующего действия (синергизм) каждого из них. Иногда суммарное воздействие смеси коагулянтов превышает действие каждого из них, взятого в отдельности. Если ионы-коагуляторы отличаются по величине заряда, то коагулирующая способность иона с меньшим зарядом подавляется полизарядным и наблюдается явление антагонизма. Синергизм возникает, если между электролитами в смеси происходит химическая реакция, в результате которой образуется многозарядный ион, обладающий более высокой коагулирующей способностью [10].

Поэтому в дальнейшем был проведен эксперимент по обработке сточных вод с использованием различных смесей коагулянтов в соотношениях 0,5:0,5; 0,75:0,25; 0,25:0,75 от дозы коагулянта 5 мг/дм³. Исследовались следующие композиции коагулянтов СА и ПОХА; ПОХА и ПАХЖ; ПОХА и Скиф-180; СА и ПАХЖ и ПАХЖ и Скиф-180. Смесь коагулянтов вводили в обрабатываемую сточную воду одновременно, затем после перемешивания на флокуляторе марки ПЭ-0244* добавляли флокулянт Праестол в дозе 1 мг/дм³. Обработанную таким образом сточную воду отстаивали в течение 2 ч, фильтровали и определяли рН, мутность, цветность и объем осадка (табл. 3).

Таблица 3. Влияние смеси исследуемых коагулянтов и их соотношений на эффективность очистки сточной воды

Соотношение исследуемых коагулянтов	Мутность, мг/дм ³	Цветность, градус	pH	Объем осадка, %
СА и ПОХА 0,5:0,5	0,958	15,968	7,01	3,1
0,25:0,75	0,848	15,568	7,13	2,5
0,75:0,25	1,231	16,666	7,01	2,2
ПОХА и ПАХЖ 0,5:0,5	0,438	8,982	7,7	2,4
0,25:0,75	0,246	9,78	7,5	2
0,75:0,25	0,219	7,385	7,387	3
ПАХЖ и СА 0,5:0,5	0,492	8,982	6,98	3
0,25:0,75	0,355	8,483	7,06	2,2
0,75:0,25	0,438	10,778	7,34	2
ПОХА и Скиф-180 0,5:0,5	0,547	4,391	7,299	1,2
0,25:0,75	0,273	4,291	7,237	2,1
0,75:0,25	0,930	13,273	7,18	2,1
ПАХЖ и Скиф-180 0,5:0,5	0,109	4,191	7,359	3
0,25:0,75	1,231	16,866	7,386	1,8
0,75:0,25	2,463	32,035	7,397	2
Исходная концентрация загрязнений в сточной воде $C_{исх}$	64,36	10,978	7,07	–

Как видно из табл. 3, pH сточной воды при смеси коагулянтов СА и ПОХА практически не меняется по сравнению с исходной, мутность воды снижается во всех пробах, но наилучший эффект очистки наблюдается при применении смеси коагулянтов в соотношении 0,25:0,75, цветность воды увеличилась по отношению к исходной, наибольший объем осадка при соотношении коагулянтов 0,5:0,5, наименьший – при 0,75:0,25.

При комбинации коагулянтов ПАХЖ и СА pH сточной воды при соотношении 0,72:0,25 смещается в щелочную сторону, при 0,25:0,75 практически не меняется, при соотношении 0,5:0,5 смещается в кислую сторону. Мутность значительно снижается при соотношении 0,25:0,75, цветность воды во всех пробах уменьшилась, наибольший объем осадка образуется при соотношении 0,5:0,5, наименьший при 0,75:0,25. Наилучший эффект по мутности и цветности получен при использовании смеси коагулянтов ПОХА и Скиф-180 в соотношении 0,25: 0,75, pH меняется незначительно во всех пробах, наименьший объем осадка образуется при соотношении реагентов 0,5:0,5.

Наилучший эффект очистки по мутности наблюдается при использовании смеси коагулянтов ПОХА и ПАХЖ в соотношении 0,25:0,75, а по цвет-

ности при соотношении коагулянтов 0,75:0,25, наибольший объем осадка образуется при этом же соотношении реагентов.

По визуальным наблюдениям при использовании ПОХА и Скиф-180 осадок имел рыхлую структуру, хлопья крупные, хорошо осаждались. Часть осадка всплыла наверх, но затем осела. При соотношении 0,75:0,25 осветление лучше, чем при соотношениях 0,5:0,5 и 0,25:0,75. Наибольший объем осадка образуется при соотношении коагулянтов 0,25:0,75 и 0,75:0,25.

Кинетика осаждения осадка исследуемых коагулянтов при различных соотношениях представлена в табл. 4 и на рис. 3. По визуальным наблюдениям при использовании смеси коагулянтов СА и ПОХА хлопья образуются крупные. Во всех пробах осадок зависает, а его часть всплывает. Наибольший объем осадка образуется при соотношении коагулянтов 0,5:0,5.

Таблица 4. Кинетика осаждения осадка при использовании смесей коагулянтов, %

Время осаждения, мин	Соотношение коагулянтов		
	0,5:0,5	0,25:0,75	0,75:0,25
1	2	3	4
СА и ПОХА			
5	1,6	1,6	1,6
10	2	1,8	2
15	2,6	2,1	2
20	2,8	2,2	2,1
25	2,9	2,3	2,1
30	3	2,5	2,2
35	3	2,5	2,2
40	3,1	2,5	2,2
ПАХЖ и СА			
5	2	1,8	1,6
10	2,4	1,9	1,7
15	2,8	2	1,8
20	2,9	2,1	1,9
25	2,9	2,1	2
30	3	2,2	2
35	3	2,2	2
40	3	2,2	2
ПОХА и Скиф-180			
5	1,2	1,6	1,4
10	1,2	1,7	1,6
15	1,2	1,8	1,8
20	1,2	1,9	1,9
25	1,2	1,9	2

Окончание табл. 4

1	2	3	4
30	1,2	2	2,1
35	1,2	2	2,1
40	1,2	2,1	2,1
ПОХА и ПАХЖ			
5	1,6	1,4	1,8
10	2	1,8	2,2
15	2,1	1,9	2,3
20	2,2	2	2,4
25	2,4	2	2,6
30	2,4	2	2,7
35	2,4	2	2,8
40	2,4	2	3
ПАХЖ и Скиф-180			
5	2	1,4	1,4
10	2,3	1,4	1,6
15	2,6	1,4	1,6
20	2,6	1,4	1,8
25	2,8	1,6	2
30	2,8	1,6	2
35	3	1,8	2
40	3	1,8	2

Во всех пробах объем осадка постепенно увеличивался примерно в течение 30–40 мин, а затем процесс стабилизировался и объем осадка практически не изменялся.

Визуально при соотношении 0,25:0,75 коагулянтов ПАХЖ и СА хлопья крупные и собираются в большие агломераты, а осадок сразу хорошо оседает. При 0,75:0,25 хлопья небольшие, образуется большое количество осадка, но вначале он оседает плохо. Наибольшее количество осадка образуется при использовании смеси коагулянтов в соотношении 0,5:0,5, при этом хлопья крупные, но агломератов мало (см. табл. 4).

Результаты исследований ПОХА и Скиф-180 показали, что во всех пробах объем осадка постепенно увеличивался примерно в течение 30 мин, а затем процесс стабилизировался и объем осадка практически не изменялся.

При использовании смеси коагулянтов ПОХА и ПАХЖ наибольшее количество осадка образуется при соотношении 0,75:0,25. При 0,5:0,5 и 0,25:0,75 объем осадка через 20 мин отстаивания не увеличивается, при 0,75:0,25 объем осадка продолжает увеличиваться со временем отстаивания.

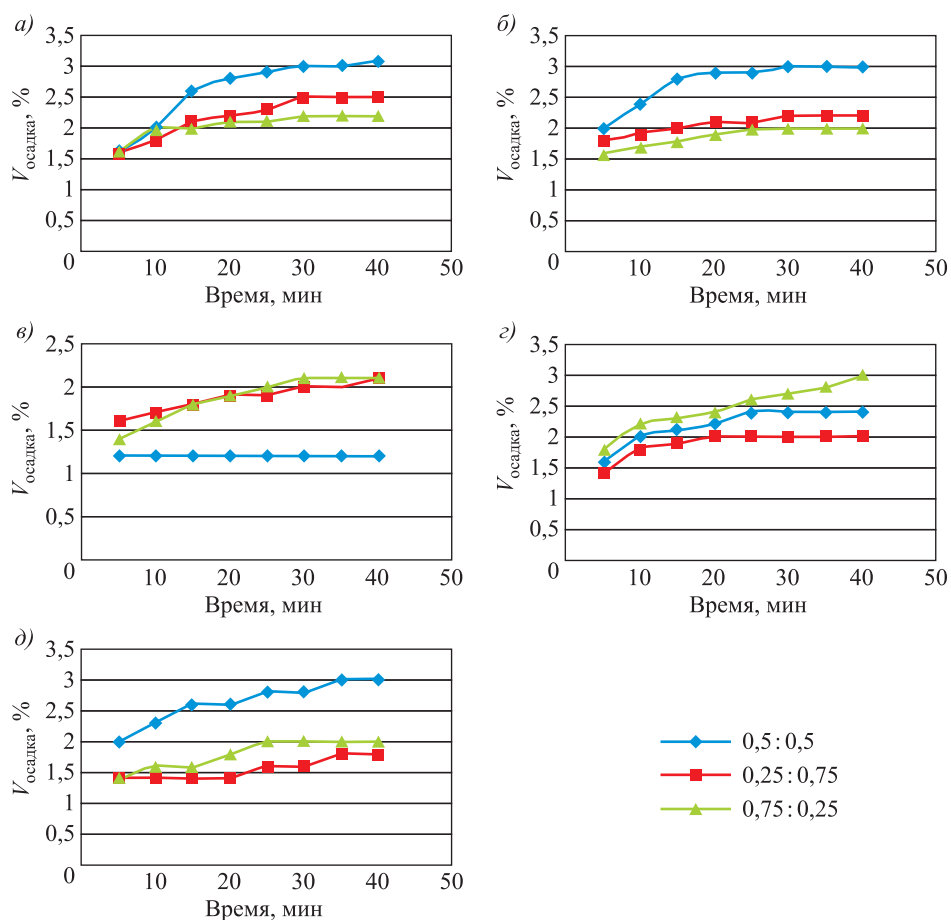


Рис. 3. Кинетика осаждения осадка в зависимости от соотношения коагулянтов СА и ПОХА (а), ПАХЖ и СА (б), ПОХА и Скиф-180 (в), ПОХА и ПАХЖ (г) и ПАХЖ и Скиф-180 (д)

По визуальным наблюдениям в результате обработки промывной воды смесью коагулянтов ПАХЖ и Скиф-180 практически во всех пробах хлопья образовывались крупные, имеющие рыхлую структуру. Осадок равномерно распределялся в объеме воды. Со временем его часть всплывала на поверхность. Высота слоя осадка постепенно увеличивалась.

В ходе исследования смеси коагулянтов ПАХЖ и Скиф-180 установлено, что наименьший объем осадка образуется при меньшей дозе ПАХЖ и большей дозе Скиф-180, наибольший объем осадка наблюдается при одинаковом соотношении исследуемых коагулянтов.

Выводы. Наилучшие результаты были достигнуты при коагуляции сточных вод ПАХЖ и Скиф-180. Наилучший эффект очистки по мутности наблюдается при применении смеси коагулянтов в соотношении 0,25:0,75. Наибольший объем осадка образуется при соотношении коагулянтов 0,5:0,5, наименьший при соотношении 0,75:0,25.

Наименьшую мутность и цветность дают смеси коагулянтов ПОХА и Скиф-180, ПОХА и ПАХЖ при соотношении коагулянтов 0,75:0,25.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюшенко А.И., Миронова О.В., Пазенко Т.Я., Колова А.Ф. Исследования по выбору типа коагулянта на водозаборе «Гремячий лог» г. Красноярск // Вестн. ИрГТУ. 2012. № 5. С. 129–134.
2. Быкова П.Г., Стрелков А.К., Занина Ж.В., Занин М.А., Поняева А.П. Повторное использование воды от промывки фильтров // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 12. С. 14–18.
3. Бутко Д.А., Лысов В.А., Родионова А.Б. Реагентное осветление промывных вод скорых фильтров // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 53–56.
4. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 8. С. 25–31.
5. Качалова Г.С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод // Вода и экология: Проблемы и решения. 2019. № 2. С. 32–39.
6. Сколубович Ю.Л., Войтов Е.Л., Кармалов А.И., Сколубович А.Ю. Очистка и утилизация промывных вод скорых фильтров станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9, ч. 1. С. 34–41.
7. Сколубович Ю.Л., Пазенко Т.Я., Колова А.Ф., Войтов Е.Л., Волков Д.Д., Гогина Е.Г. Реагентная очистка промывных вод фильтров // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 6. С. 27–37.
8. Сафронов М.А. Исследование технологии реагентной обработки поверхностных природных вод смешанными минеральными коагулянтами // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. С. 1.
9. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Пазенко Т.Я., Мартынюк Ю.А. Очистка и повторное использование промывных вод водоочистных станций // Труды НГАСУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 84–91.
10. Гефман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. 5-е изд., стер. СПб.: Лань, 2010. С. 334–336.

Пазенко Татьяна Яковлевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: pazenkotat@yandex.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Курилина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: ctrelok91@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Иванов Андрей Владимирович, магистр; E-mail: andei-99i@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Толпаров Матвей Муратович, магистр; E-mail: mtolparov95@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Войтов Евгений Леонидович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: viv@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск

Получено 15.07.2021

Pazenko Tatyana Yakovlevna, PhD, Ass. Professor; E-mail: ochurbacova@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kurilina Tatyana Alexandrovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: ochurbacova@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Ivanov Andrey Vladimirovich, MSc; E-mail: andei-99i@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Tolparov Matvey Muratovich, MSc; E-mail: mtolparov95@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Voytov Evgeniy Leonidovich, DSc, Professor; E-mail: viv@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

INVESTIGATION OF REAGENT TREATMENT OF WASHING WATERS WITH MIXED COAGULANTS

The reagent treatment of filter washing water is considered. The possibility of using mineral coagulants, often used in the preparation of drinking water, is evaluated. The effectiveness of the use of various reagents and their mixtures in the treatment of filter washing waters is shown. The kinetics of resulting sediment precipitation when using them is studied. The most effective mixtures of coagulants for the treatment of filter washing waters have been established.

Key words: coagulant, washing water, sediment, kinetics, thermogravimetric analysis, purification efficiency.

REFERENCES

1. *Matyushenko A.I., Mironova O.V., Pazenko T.Ya., Kolova A.F.* Issledovaniya po vyboru tipa koagulyanta na vodozabore «Gremyachiy log» g. Krasnoyarska [Studies on the choice of the type of coagulant at the water intake “Gremyachy Log”, Krasnoyarsk]. Vestnik IrGTU [Bull. Irkutsk State Technical University]. 2012. No. 5. Pp. 129–134. (in Russian)
2. *Bykova P.G., Strelkov A.K., Zanina Zh.V., Zanin M.A., Ponyaeva A.P.* Povtornoeye ispol'zovaniye vody ot promyvki fil'trov [Reuse of water from filter washing]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2015. No. 12. Pp. 14–17. (in Russian)
3. *Butko D.A., Lysov V.A., Rodionova A.B.* Reagentnoeye osvetleniye promyvnykh vod skorykh fil'trov [Reagent clarification of washing waters of fast filters]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2009. No. 9. Pp. 53–56. (in Russian)
4. *Draginskiy V.L., Alekseeva L.P.* Obrabotka promyvnykh vod fil'trov vodoochistnykh stantsiy [Treatment of washing waters of water treatment plant filters]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2005. No. 8. Pp. 25–31. (in Russian)
5. *Kachalova G.S.* Koagulyatsionno-sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod [Coagulation-sorbent wastewater treatment]. Voda i ekologiya: Problemy i resheniya [Water and Ecology: problems and solutions]. 2019. No. 2. Pp. 32–39. (in Russian)
6. *Skolubovich Yu.L., Voytov E.L., Karmalov A.I., Skolubovich A.Yu.* Ochistka i utilizatsiya promyvnykh vod skorykh fil'trov stantsiy obezhezheleviyaniya [Purification and utilization of washing waters of fast filters of iron removal stations]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2011. No. 9, p. 1. Pp. 34–41. (in Russian)
7. *Skolubovich Yu.L., Pazenko T.Ya., Kolova A.F., Voytov E.L., Volkov D.D., Gogina E.G.* Reagentnaya ochistka promyvnykh vod fil'trov [Reagent purification of washing water of filters]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 6. Pp. 27–37. (in Russian)
8. *Safronov M.A.* Issledovaniye tekhnologii reagentnoy obrabotki poverkhnostnykh prirodnykh vod smeshannymi mineral'nymi koagulyantami [Investigation of the technology of reagent treatment of surface natural waters with mixed mineral coagulants]. Inzhenernyy vestnik Dona [Don Engineering Gazette]. 2019. No. 1. P. 1. (in Russian)
9. *Voytov E.L., Skolubovich Yu.L., Pazenko T.Ya., Martynyuk Yu.A.* Ochistka i povtornoeye ispol'zovaniye promyvnykh vod vodoochistnykh stantsiy [Treatment and reuse of rinsing water from wastewater treatment plants]. Trudy NGASU [Proceedings of NGASU]. 2017. Vol. 20, No. 3. Pp. 84–91. (in Russian)
10. *Gefman M.I., Kovalevich O.V., Yustratov V.P.* Kolloidnaya khimiya [Colloid Chemistry]. St. Petersburg, 2010. Pp. 334–336. (in Russian)