

КОАГУЛЯЦИОННО-СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Качалова Г. С.

COAGULATION AND SORPTION TREATMENT OF WASTEWATER

Kachalova G. S.

Аннотация

Введение: объектом исследования выступают модельные сточные воды, состав и свойства которых максимально приближены к реальным сточным водам АО «Тюменский аккумуляторный завод». Цель — исследование процесса сорбционной доочистки с использованием оптимальных реагентов и их доз для процессов коагуляции и флокуляции. **Методы:** фотоколориметрический — определение мутности, содержания катионов свинца, титриметрический — кислотности, pH-метрия. **Результаты:** в ходе эксперимента были определены оптимальные дозы пяти коагулянтов (сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 300 мг/л, хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — 250 мг/л, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ — 300 мг/л, смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1) — 150 мг/л и полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30 — 200 мг/л). Среди них был выбран наиболее эффективный коагулянт — полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30. В процессе исследования эффективности трех различных флокулянтов (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH и полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я. М. Свердлова» (ПАА)) установлен наиболее эффективный для данных сточных вод флокулянт — ПАА (2 мг/л) в сочетании с коагулянтом полиоксихлоридом алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л), что позволило добиться снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ, а содержания свинца — до 1,5 мг/л. Процесс сорбции был проведен в динамических условиях с использованием сорбента КФГМ-7. В результате мутность снизилась до 1 ЕФМ, содержание свинца — до 0,03 мг/л, что не превышает максимально допустимое значение показателя концентрации свинца в пробе сточных вод, поступающих на сброс в общеслужбовые и бытовые системы водоотведения, которое составляет 0,25 мг/л. **Заключение:** при исследовании модельных сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод» установлены наиболее эффективные коагулянты и флокулянты. Для всех реагентов определены оптимальные дозы. Проведен процесс динамической сорбции для доочистки сточных вод от ионов свинца, после сорбции концентрация ионов свинца в обрабатываемых сточных водах снизилась более чем на 98 %. Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для усовершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Ключевые слова: коагулянты, флокулянты, дозы реагентов, модельные сточные воды, мутность, содержание свинца, сорбент, доочистка.

Abstract

Introduction: The paper analyzes model wastewater with composition and properties as close as possible to actual wastewater from the Tyumen Battery Plant. The purpose of the study is to examine the process of advanced sorption treatment with account for optimal reagents and their doses for coagulation and flocculation. **Methods:** Photocolorimetric analysis to determine turbidity and content of lead cations, titrimetric analysis to determine acidity, and pH-metry were used. **Results:** During the experiment, optimum doses of five coagulants were determined ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ferrous sulfate heptahydrate — 300 mg/l, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ferric chloride hexahydrate — 250 mg/l, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dialuminum sulfate octadecahydrate — 300 mg/l, mixed coagulant of FeCl_3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1) — 150 mg/l, and $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ polyaluminum chloride under the Aqua-Aurat-30 trademark — 200 mg/l). Among those, polyaluminum chloride Aqua-Aurat-30 was chosen as the most effective coagulant. In the course of the studies on efficiency of three different flocculants (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH and polyacrylamide gel (technical grade)) by the Federal State Unitary Enterprise “Sverdlov Plant” (PAA), PAA (2 mg/l) in combination with coagulant polyaluminum chloride Aqua-Aurat-30 (150 mg/l) was found to be the most effective flocculant for wastewater under consideration and allowed decreasing its turbidity to 10 FTU, and lead content — to 1.5 mg/l. The sorption process was carried out in dynamic conditions using KFGM-7 sorbent. As a result, turbidity decreased to 1 FTU, lead content — to 0.03 mg/l, which does not exceed the maximum allowable lead content in a sample of wastewater to be discharged into domestic and combined sewage systems (0.25 mg/l). **Conclusion:** In the course of analysis of model wastewater from the Tyumen Battery Plant, the most effective coagulants and flocculants were specified. The optimal reagent doses were determined. The process of dynamic sorption for advanced treatment of wastewater to clean it from lead ions was carried out. As a result, the content of lead ions in the treated wastewater decreased by more than 98 %. The present study is especially important as its results can be used to improve wastewater treatment processes at the Tyumen Battery Plant.

Keywords: coagulants, flocculants, reagent doses, model wastewater, turbidity, lead content, sorbent, advanced treatment.

Введение

Очистка сточных вод — одна из самых острых экологических проблем современной промышленности. И промышленные предприятия Тюмени и Тюменской области не являются исключением. АО «Тюменский аккумуляторный завод» — крупное предприятие, использующее большое количество воды для процесса производства. Большая часть образующихся сточных вод используется повторно и не оказывает непосредственного воздействия на окружающую среду. Но несмотря на это часть сточных вод поступает в городские очистные сооружения, поэтому требует тщательной очистки от различных загрязнителей. Объектом исследования выступают сточные воды, предметом — очистка модельных сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Цель исследования — подбор оптимальных реагентов и их доз для процессов коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод», проведение процесса динамической сорбции для доочистки сточных вод от ионов свинца.

Представленные исследования имеют непосредственную практическую значимость для усовершенствования технологического процесса очистки сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

В зарубежной литературе все реагенты, участвующие в агрегации и осаждении частиц, называют флокулянтами. В России наиболее принято разделение по такому принципу: к коагулянтам относят низкомолекулярные вещества, воздействующие на электрокинетический потенциал, а к флокулянтам — высокомолекулярные соединения, вызывающие агрегацию частиц за счет химического взаимодействия [19].

Все коагулянты можно классифицировать на органические и неорганические. К органическим относят низкомолекулярные водорастворимые полимеры, такие как полиамины, дициандиамидные и меламинаформальдегидные смолы, полиадамак. Данные соединения эффективны, они практически не влияют на pH сточной воды, для очистки достаточно небольших доз. Однако они имеют высокую цену, сырьевая база для их производства ограничена.

Неорганические коагулянты получили более широкое применение в промышленных объемах, что связано с их универсальностью, распространенностью и низкой стоимостью. Минеральные коагулянты представлены солями алюминия, железа и их смесями, значительно реже используются соли магния, титана, цинка [6, 16, 22].

Железосодержащие коагулянты

Из железосодержащих коагулянтов используют, главным образом, хлорид железа, сульфат железа. FeCl_3 , представляющий собой мелкие кристаллы фиолетового цвета с темно-зеленым оттенком с металлическим блеском, очень гигроскопичен, поэтому чаще встречается в форме кристаллогидрата $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Товарный продукт выпускается двух сортов, содержащих соответственно не менее 97,3 и 95 % FeCl_3 [5].

Сульфат закиси железа $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — зеленовато-голубые кристаллы, окисляющиеся на воздухе с образованием основного сульфата железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)$. Товарный продукт содержит от 47 до 53 % $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ [1, 15].

Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при pH 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является преимуществом их применения. Помимо этого, коагулянты на основе железа не теряют своей коагулирующей способности даже при низких температурах воды. К недостаткам можно отнести необходимость точной дозировки коагулянта, так как избыток может приводить к значительному повышению концентраций катионов и соединений железа в очищенной воде [6].

Алюмосодержащие коагулянты

Сульфат алюминия (очищенный)
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ выпускается в трех сортах. Сульфат алюминия высшего сорта представляет собой сыпучий белый материал с содержанием Al_2O_3 не менее 16 %, первый и второй сорт — это не слеживающиеся пластины, куски, брикеты с содержанием Al_2O_3 16 и 15 % соответственно [8, 9]. Данный коагулянт эффективен при pH 5–7,5, при этом он обладает высокой чувствительностью к изменению pH и температуры воды, что является существенным недостатком. Однако сульфат алюминия имеет невысокую стоимость, прост в обращении, обладает практически неограниченным сроком хранения и хорошей растворимостью. Это один из самых распространенных коагулянтов [11, 21].

Оксид алюминия (ОХА) другие названия — полиалюминий гидроксид, хлоридоксид алюминия, основной хлорид алюминия. ОХА можно представить в виде общей формулы $Al(OH)_m Cl_{3-m}$, наиболее частый вид $Al_2(OH)_5 Cl \cdot 6H_2O$ [12]. ОХА на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных коагулянтов, используемый при низких температурах, обладающий низкой кислотностью и широкой зоной оптимума pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [13].

Смешанные коагулянты

Недостатки железосодержащих и алюмосодержащих коагулянтов можно минимизировать, если использовать смешанные коагулянты. Смешанный алюможелезистый коагулянт представляет собой смесь растворов $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ в соотношении 1:1, возможны и другие соотношения в зависимости от условий работы очистных сооружений и характера сточных вод [10].

Флокуляция

Для интенсификации процесса хлопьеобразования при коагуляции применяют флокуляцию. Флокуляция — это процесс агрегации частиц при добавлении в сточные воды высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции, агрегация частиц при флокуляции происходит не только в результате контакта, но и в результате химического взаимодействия флокулянта и извлекаемого вещества. Важно подобрать правильную дозу флокулянта, так как недостаток приводит к медленному и неполному протеканию процесса, а избыток — к дефлокуляции или пептизации.

Современные флокулянты для очистки сточных вод

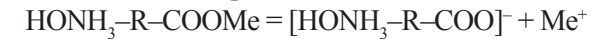
В воде флокулянты могут находиться в неионизированном состоянии (неионные флокулянты) или диссоциировать на ионы. В зависимости от химической природы диссоциирующей группы различают анионные и катионные флокулянты. Обычно к анионным группам относят $-COOH$; $-SO_3H$; $-OSO_3H$; $-PO(OH)_2$; $-Cl$; $-SO_4$; к катионным: $-NH_2$; $=NH$; $=NOH$; $-Na$; $-K$ и другие. При наличии в структуре кислотных и основных групп макромолекула обладает амфотерными свойствами, т. е. знак заряда иона изме-

няется в зависимости от pH среды. Наибольшее распространение в промышленном применении получил полиакриламид и флокулянты на его основе. Чистый полиакриламид (ПАА) — амфотерный полиэлектролит и может диссоциировать по кислую либо основному типу:

- в кислой среде



- в щелочной среде



где R — цепочка молекулы ПАА [20].

Сорбционные методы очистки сточных вод

Один из наиболее опасных загрязнителей, поступающих в сточные воды АО «Тюменский аккумуляторный завод» — свинец. Он один из самых токсичных тяжелых металлов, включенный в списки приоритетных загрязнителей рядом международных организаций (ЮНЕП, ВОЗ) и многими аналогичными государственными организациями в разных странах [7]. Для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования предельно допустимая концентрация свинца составляет 0,01 мг/л, для воды централизованных систем питьевого водоснабжения — 0,03 мг/л, класс опасности — 2 [4]. Поэтому очистка воды от свинца и его соединений — приоритетная задача всего комплекса очистки сточных вод.

Зачастую методов коагуляции и флокуляции недостаточно для глубокой очистки сточных вод, поэтому дополнительно применяются сорбционные методы, относящиеся к эффективным способам глубокой очистки сточных вод. Отличительная особенность сорбции — возможность извлечения веществ из многокомпонентных смесей, а также высокая эффективность даже при малых концентрациях загрязнителей [2]. На современном рынке представлены сорбирующие вещества на основе природных и синтетических веществ. Сорбенты природного происхождения представлены в двух видах: неорганические (цеолиты, мордениты, шабазиты, клиноптилолиты) и минерально-органические (угли, торфы, продукты карбонизации древесины). Особого внимания заслуживают неорганические синтетические сорбенты, так как многие из них проявляют селективность к тяжелым металлам. На практике применяются гидроксиды и соли металлов с переменной валентностью, природные алюмосили-

каты (некоторые глинистые минералы, цеолиты, пермутиты), а также синтетические [14].

Для исследования процесса сорбции выбрана загрузка — керамический фильтрующий гранулированный материал КФГМ-7, используемый на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

КФГМ-7 представлен в виде гранул белого, светло-серого, розового цвета размером 1,5–2,5 мм. Производится из высококачественного каолина марки КАХ-2 с последующей грануляцией, дегидратацией и специальной обработкой. Состав КФГМ-7: Al_2O_3 (35–36 %), SiO_2 (48–50 %), MgO (0,6 %), Na_2O (0,4–0,6 %), Fe_2O_3 (0,5–1,0 %), CaO (0,8 %), TiO_2 (0,7 %). КФГМ-7 сорбирует из воды катионы тяжелых металлов, а также взвешенные вещества и другие примеси.

Сорбционная емкость данного сорбента по ионам тяжелых металлов (4 кг/м^3) является экологически чистым материалом, простым в эксплуатации. Регенерация загрузки представляет собой интенсивную обратную водную промывку. Главное требование к сточной воде, подаваемой на сорбционную очистку, — pH среды должен быть от 7,5 до 8.

Материал и методы исследования

Материалом исследования стали модельные сточные воды АО «Аккумуляторный завод». Методы исследования: фотоколориметрический — определение мутности, титриметрический — кислотности, фотоколориметрический — содержания катионов свинца, pH-метрии.

В процессе исследования использованы следующие коагулянты: сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1), полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30.

Среди флокулянтов были отобраны три типа: анионный флокулянт Праестол 2530 TR, катионный — Флопам 4350 SH и полиэлектролит — Полиакриламид-гель технический.

Для приготовления модельных сточных вод в пять мерных цилиндров на 500 мл поместили навеску свинцовой пасты массой 250 мг и 250 мг нитрата свинца, доведя до метки водой. Для нейтрализации стоков добавили 1,5 мл раствора Na_2CO_3 . Значение pH модельных вод после ней-

трализации составило 8,32, что находится в допустимых пределах.

Определение содержания свинца в модельных водах проводили плюмбоновым методом согласно ГОСТ 18293–72 [18]. Сущность метода заключается в образовании соединения свинца с плюмбоном, имеющего желто-оранжевый цвет. Предварительно свинец экстрагируется дитизоном в четыреххлористом углеводе.

Измерение оптической плотности рабочего раствора свинца проводили относительно холостой пробы на КФК-3-01-«ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 490 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм. Значение оптической плотности составило 0,124.

Чтобы перейти от оптической плотности раствора к концентрации ионов свинца, необходимо было построить калибровочный график по стандартному образцу состава раствора ионов свинца ГСО 7252–96.

Для определения мутности модельных сточных вод пользовались методикой ГОСТ Р 57164–2016, для чего измерили оптическую плотность вод при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм.

Значение оптической плотности составило 3,683.

Для перехода от оптической плотности к мутности построили калибровочный график по стандартному образцу мутности (формазиновая суспензия) ГСО 7271–96.

Методика процесса коагулирования

Диапазон доз различных коагулянтов выбрали от 100 до 300 мг/л. Все коагулянты готовили в виде 5 %-го раствора. Коагулянты вводились в модельные сточные воды после подщелачивания. Через 30 минут отбирали пробы на глубине ниже уровня жидкости на 5 см каждые 10 минут в течение 1 часа. Во всех пробах измеряли значение оптической плотности по методике ГОСТ Р 57164–2016. Для оптимальных доз всех коагулянтов с помощью калибровочного графика оптическая плотность была переведена в показатель качества воды — мутность.

Методика процесса флокулирования

Для оценки действия флокулянта брали дозу флокулянта в 2 мг/л при дозе полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30–200 мг/л. Флокулянт

Таблица 1

Дозы различных коагулянтов и величины мутности сточных вод при их использовании

Используемый коагулянт	Доза (оптимальная) мг/л	Остаточная мутность, ЕФМ
Сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	300	60
Сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	300	57
Хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	250	20
Смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	150	20
Полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Аква-Аурат™30	200	10

вводили по истечении 5 минут после введения коагулянта.

Исследование процесса сорбционной доочистки сточных вод

Процесс сорбции проводили в динамических условиях с использованием КФГМ-7. Оптимальная скорость фильтрации для сорбента КФГМ-7 — до 4 м/ч, минимальная высота слоя при фильтрации — 0,7 м. Задали скорость капания 3,3 м/ч при высоте слоя сорбента 0,7 м. Для процесса сорбционной доочистки выбрали образцы сточной воды, которые после процессов очистки имели наименьшие значения мутности: данные образцы пропускали через лабораторную установку для проведения процесса сорбции и проводили в ней определение мутности и содержания свинца.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные исследования эффективности различных коагулянтов представлены на рис. 1, 2 и табл. 1.

Таким образом, были выяснены оптимальные дозы каждого коагулянта и максимально возможное уменьшение оптической плотности сточных вод. Для наглядного представления полученные данные приведены на рис. 1.

Для оптимальных доз всех коагулянтов оптическая плотность была переведена в показатель качества воды—мутность с помощью калибровочного графика. Результаты сведены в табл. 1 и рис. 2.

На основании представленных данных (табл. 1) для дальнейших исследований был

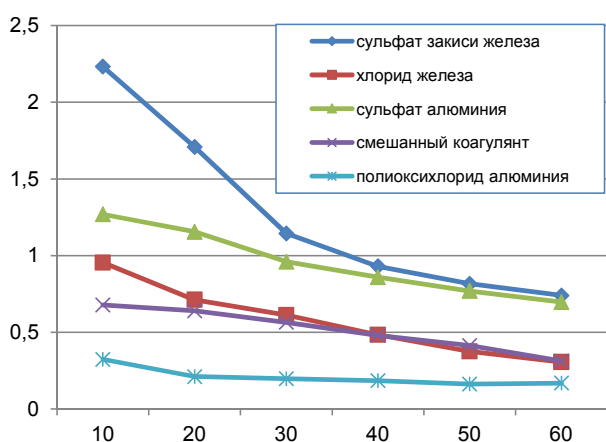


Рис. 1. Изменение оптической плотности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

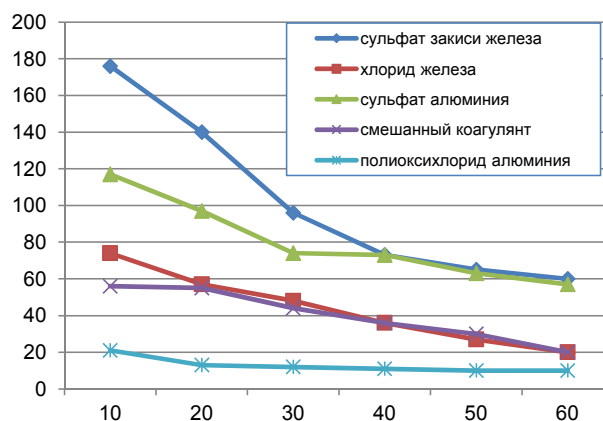


Рис. 2. Изменение мутности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

выбран коагулянт полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30, так как его использование помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ. Оптимальная доза данного коагулянта составила 200 мг/л.

Результаты исследования эффективности различных флокулянтов представлены на рис. 3, 4.

Таким образом, использование коагулянта полиоксихлорида алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянтом Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я. М. Свердлова» дозой 2 мг/л помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ.

Определили содержание свинца в сточной воде после процессов коагуляции и флокуляции

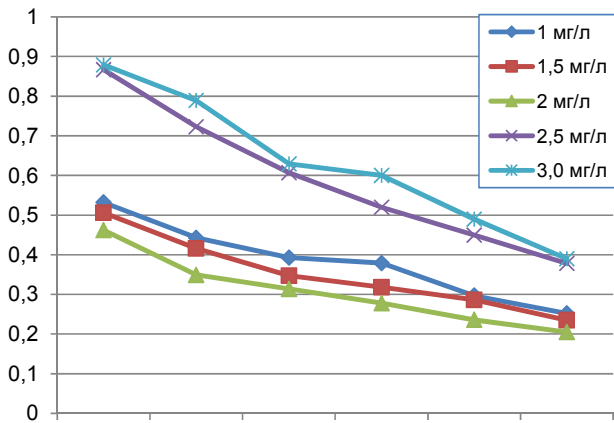


Рис. 3. Изменение оптической плотности от времени отстаивания для оптимальной дозы коагулянта (200 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

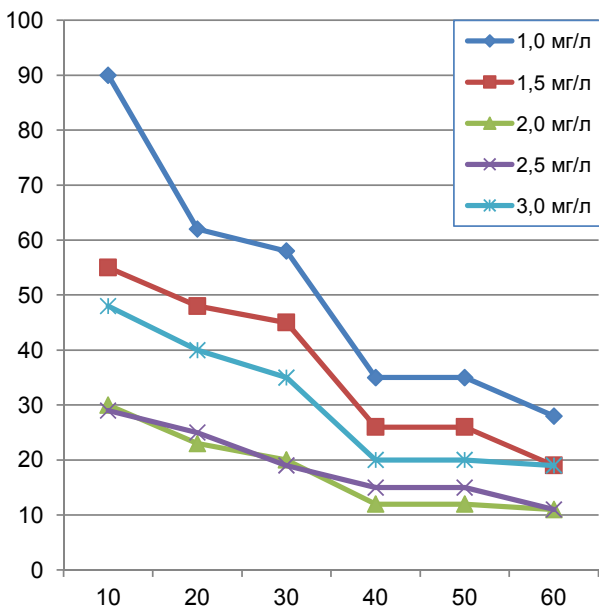


Рис. 4. Изменение мутности от времени отстаивания для дефицитной дозы коагулянта (150 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293–72 [18]. Оптическая плотность раствора составила 0,080, что соответствует содержанию свинца 1,5 мг/л.

Для процесса сорбционной доочистки были выбраны два образца сточной воды, которые после процессов очистки имели наименьшие значения мутности (после коагуляции с применением полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 200 мг/л и после коагулянта полиоксихло-

рида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянтом ПАА дозой 2 мг/л). Процесс сорбции был проведен в динамических условиях при помощи лабораторной установки с использованием сорбента КФГМ-7. После сорбции у первого образца воды значение мутности составило менее 1 ЕФМ, содержание свинца — 0,09 мг/л, у второго образца мутность снизилась до 1 ЕФМ, содержание свинца — до 0,03 мг/л. Содержание свинца в очищенных сточных водах не превышает максимальное допустимое значение показателя концентрации свинца в пробе сточных вод, поступающих на сброс в общесплавные и бытовые системы водоотведения, которое составляет 0,25 мг/л [3].

По полученным данным можно отследить уменьшение мутности сточных вод и уменьшение концентрации ионов свинца при использовании различных реагентов на разных ступенях очистки. Данные представлены в виде итоговых таблиц 2, 3.

Таблица 2

Качественные показатели процессов очистки сточных вод

	До очистки	После реагентной очистки	После сорбции
Коагулянт полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30 (200 мг/л)			
Мутность, ЕФМ	315	10	Менее 1
Содержание свинца, мг/л	580	5,0	0,09
Коагулянт полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л) и флокулянт ПАА (2 мг/л)			
Мутность, ЕФМ	315	10	Менее 1
Содержание свинца, мг/л	580	1,5	0,03

Таблица 3

Эффекты очистки сточных вод

	После реагентной очистки	После сорбции	Суммарно
Коагулянт полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30 (200 мг/л)			
Эффект снижения мутности, %	96,83	Более 90,00	Более 99,68
Эффект очистки от свинца, %	99,14	98,20	99,98
Коагулянт полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л) и флокулянт ПАА (2 мг/л)			
Эффект снижения мутности, %	96,83	Более 90,00	Более 99,68
Эффект очистки от свинца, %	99,74	98,00	99,99

Заключение

При исследовании модельных сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод» установлены наиболее эффективные коагулянты и флокулянты. Для всех реагентов определены оптимальные дозы. Проведен процесс динамической сорбции для доочистки сточных вод от ионов свинца. Проверена эффективность предложенных методов очистки.

Наилучшие результаты были достигнуты при коагуляции сточных вод с применением в качестве коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 200 мг/л и коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянтом ПАА дозой 2 мг/л. Оба способа позволяют добиться одинакового снижения мутности сточных вод, однако использование флокулянта значительно снижает содержание свинца в сточных водах и позволяет уменьшить расход коагулянта.

При проведении динамической сорбции концентрация ионов свинца в обрабатываемых сточных водах снизилась более чем на 98 %.

Данная схема очистки более эффективна, чем та, что в данный момент используется на АО «Тюменский аккумуляторный завод», так как значительно повышает качество сточных вод за счет использования более современных реагентов в их оптимальных дозах.

Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее исследования могут быть использованы для совершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Литература

1. Бабенков, Е. Д. (1977). Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 356 с.
2. Воронов, Ю. В. и Яковлев, С. В. (2006). Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 704 с.
3. Главный государственный санитарный врач РФ (1996). СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Госкомсанэпидемнадзор, 111 с.
4. Главный государственный санитарный врач РФ (2003). ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав России, 214 с.
5. Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР (1988). ГОСТ 11159-76. Железо хлорное техническое. М.: Издательство стандартов, 7 с.
6. Драгинский, В. Л., Алексеева, Л. П. и Гетманцев, С. В. (2005). Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: б. и., 576 с.
7. Егорова, Г. Л. и Худoley, В. В. (1996). Свинец в окружающей среде: опасность для здоровья детей и ее предупреждение [online] Доступно по ссылке: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/06/1/120106.htm> [Дата обращения: 15.03.2019].
8. ИНФОМАЙН (2015). Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане. 3-е изд. М.: ООО «ИГ «ИНФОМАЙН», 134 с.
9. ГОСТ 12966-85. Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 12 с.
10. Качалова, Г. С. (2018) Использование современных коагулянтов и флокулянтов в процессе коагулирования сточных вод. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 2, сс. 23–27.
11. Качалова, Г. С., Пешева А. В., Зосуль, О. И. и Настенко, А. О. (2015). Выбор современных реагентов, определение их доз для снижения мутности промывных вод скорых фильтров с целью их оборотного использования. В: 17-я Международная научно-практическая конференция «Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке», Тюмень: ТюмГАСУ, т. 1, сс. 87–93.
12. Когановский, А. М., Клименко, Н. А., Левченко, Т. М., Марутовский, Р. М. и Рода, И. Г. (1983). Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. М.: Химия, 288 с.
13. Коева, А. Ю., Максимова, С. В. и Качалова, Г. С. (2014). Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол. Современные наукоемкие технологии, № 5, сс. 47–50.
14. Лейкин, Ю. А. (2011). Физико-химические основы синтеза полимерных сорбентов: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 413 с.
15. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (1996). ГОСТ 6981-94. Купорос железный технический. Технические условия. Минск: ИПК Издательство стандартов, 13 с.
16. Пазенко, Т. Я. и Колова, А. Ф. (2010). Обработка промывных вод фильтров водоподготовки. Известия вузов. Строительство, № 9, сс. 65–68.
17. Петрова, Л. В. и Калюкова, Е. Н. (2004). Химия воды: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 48 с.
18. Стандартиформ (2010). ГОСТ 18293-72. Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. М.: Стандартиформ, 16 с.
19. Халтурина, Т. И. (2014). Очистка сточных вод промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Красноярск: СФУ, 164 с.
20. Kadooka, H., Jami, M. S., Tanaka, T. and Iwata, M. (2016). Mechanism of clarification of colloidal suspension using composite dry powdered flocculant. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 11, pp. 32–38. DOI: doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.03.004.

21. Lin, J., Couperthwaite, S. J. and Millar, G. J. (2017). Effectiveness of Aluminium Based Coagulants for Pre-Treatment of Coal Seam Water. *Separation and Purification Technology*, vol. 177, pp. 207–222. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.010.

22. Wang, B., Shui, Y., He, M. and Liu, P. (2017). Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. *Biochemical Engineering Journal*, vol. 121, pp. 107–117. DOI: 10.1016/j.bej.2017.01.020.

References

1. Babenkov, E. (1977). *Water purification with coagulants*. Moscow: Nauka, 356 p.

2. Voronov, Yu. V. and Yakovlev, S. V. (2006). *Wastewater disposal and treatment*. Moscow: ASV Publishing House, 704 p.

3. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (1996). *Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.1.4.559–96. Drinking water. Hygienic requirements to water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control*. Moscow: State Committee on Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Federation, 111 p.

4. Chief Public Health officer of the Russian Federation (2003). *Hygienic Standard GN 2.1.5.1315-03. Maximum allowable concentrations of chemical substances in water bodies to household/drinking and recreational water use*. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 214 p.

5. State Committee for Standards of the USSR Council of Ministers (1988). *State Standard GOST 11159-76. Ferric chloride technical*. Moscow: Publishing House of Standards, 7 p.

6. Draginsky, V. L., Alekseyeva, L. P. and Getmantsev, S. V. (2005). *Coagulation in the technology of water purification*. Moscow: s. n., 576 p.

7. Yegorova, G. L. and Khudoley, V. V. (1996). *Lead in the environment: health risk in children and its prevention*. [online] Available at: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/06/1/120106.htm> [Date accessed 15.03.2019].

8. INFOMINE (2015). *Inorganic coagulants in Russia and Kazakhstan: production, market and forecast*. 3rd edition. Moscow: OOO Market Research Group INFOMINE, 134 p.

9. Publishing and Polygraphic Complex Publishing House of Standards (1999). *State Standard GOST 12966-85. Technical purified aluminium sulphate. Specifications*. Moscow: Publishing and Polygraphic Complex Publishing House of Standards, 12 p.

10. Kachalova, G. S. (2018). Use of modern coagulants and flocculants in the process of waste water coagulation. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, No. 2, pp. 23–27.

11. Kachalova, G. S., Pesheva, A. V., Zosul, O. I. and Nastenka, A. O. (2015). Selection of modern reagents, determination of their doses to decrease turbidity of wash water of high-rate filters for its recycling. In: *17th International Scientific and Practical Conference "Water Resources and Landscape-Estate Urbanization of Territories in Russia in the*

21st Century", Tyumen: Tyumen State Architectural University, vol. 1, pp. 87–93.

12. Koganovsky, A. M., Klimenko, N. A., Levchenko, T. M., Marutovsky, R. M. and Roda, I. G. (1983). *Cleaning and use of sewage in industrial water supply*. Moscow: Khimiya, 288 p.

13. Koyeva, A. Yu., Maksimova, S. V. and Kachalova, G. S. (2014). Processing of wash waters at the station of water treatment in Kurgan on the Tobol River. *Modern High Technologies*, No. 5, pp. 47–50

14. Leykin, Yu. A. (2011). *Physical and chemical foundations of polymeric sorbents' synthesis: study guide*. Moscow: BINOM. Laboratoriya Znaniy (BINOM. Laboratory of Knowledge), 413 p.

15. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (1996). *State Standard GOST 6981-94. Green vitriol for industrial use. Specifications*. Moscow: Publishing and Polygraphic Complex Publishing House of Standards, 13 p.

16. Pazenko, T. Ya. and Kolova, A. F. (2010). Processing of wash waters of water treatment filters. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, No. 9, pp. 65–68.

17. Petrova, L. V. and Kalyukova, Ye. N. (2004). *Water chemistry: study guide*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 48 p.

18. Standartinform (2010). *State Standard GOST 18293–72. Drinking water. Methods for determination of content of lead, zinc and silver content*. Moscow: Standartinform, 16 p.

19. Khalturina, T. I. (2014). *Sewage treatment at industrial enterprises: study guide*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 164 p.

20. Kadooka, H., Jami, M. S., Tanaka, T. and Iwata, M. (2016). Mechanism of clarification of colloidal suspension using composite dry powdered flocculant. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 11, pp. 32–38. DOI: doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.03.004.

21. Lin, J., Couperthwaite, S. J. and Millar, G. J. (2017). Effectiveness of aluminium based coagulants for pre-treatment of coal seam water. *Separation and Purification Technology*, vol. 177, pp. 207–222. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.010.

22. Wang, W., Shui, Y., He, M. and Liu, P. (2017). Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. *Biochemical Engineering Journal*, vol. 121, pp. 107–117. DOI: 10.1016/j.bej.2017.01.020.

Автор

Качалова Галина Степановна, канд. хим. наук, доцент Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

E-mail: galinakachalova@mail.ru

Author

Kachalova Galina Stepanovna, Ph. D. in Chemistry, Associate Professor

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: galinakachalova@mail.ru