

УДК 628.161 (282.256.163.3)
DOI 10.17513/use.38238

ОЧИСТКА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ РЕКИ ТУРА

Качалова Г.С., Агейкина О.В., Голянская С.А.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень,
e-mail: galinakachalova@mail.ru

Аннотация. Исследовали природную воду р. Тура в устье р. Тюменка. Цель исследования – выбор наиболее эффективных коагулянтов и флокулянтов в определенных дозах для очистки воды р. Тура (в устье р. Тюменка) от взвешенных и коллоидных частиц, общего железа с последующей доочисткой методом динамической сорбции. В процессе работы были применены следующие методики: определения физических и химических показателей качества исходной воды, определения мутности, исследования эффективности различных доз коагулянта и флокулянтов, определения содержания железа в природной воде, проведения процесса коагулирования и флокулирования, проведения сорбционной доочистки. Были изучены и применены: коагулянт – Аква-Аурат 30, флокулянты – Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, полиакриламид, $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (жидкое стекло), сорбент марки КФГМ-7. Данный эксперимент позволил выявить оптимальные дозы коагулянта $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и флокулянтов Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, полиакриламида, жидкого стекла, максимально снижающих концентрацию общего железа и мутности до величин, соответствующих санитарным правилам и нормам. Результаты исследования в дальнейшем могут быть использованы для очистки воды на водоочистных сооружениях.

Ключевые слова: природная вода, коагулянт, флокулянт, доза, мутность, оптическая плотность, содержание железа, сорбция

PURIFICATION OF NATURAL WATER OF THE TURA RIVER

Kachalova G.S., Ageykina O.V., Golyanskaya S.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: galinakachalova@mail.ru

Annotation. The natural water of the Tura River at the mouth of the Tyumenka River was studied. Purpose of the study: selection of the most effective coagulants and flocculants in certain doses to purify the water of the Tura River (at the mouth of the Tyumenka River) from suspended and colloidal particles, total iron, followed by post-purification by dynamic sorption. During the work, the following methods were used: determining physical and chemical indicators of source water quality, determining turbidity, studying the effectiveness of various doses of coagulant and flocculants, determining the iron content in natural water, carrying out the coagulation and flocculation process, and carrying out sorption post-treatment. The following were studied and used: coagulant – Aqua-Aurat 30, flocculants – Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, polyacrylamide, $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (liquid glass), sorbent brand KFGM-7. This experiment allowed us to identify the optimal doses of the coagulant $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and flocculants: Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, polyacrylamide, liquid glass, which maximally reduce the concentration of total iron and turbidity to values that comply with sanitary rules and regulations. The results of the study can be used in the future for water purification at water treatment plants.

Keywords: natural water, coagulant, flocculant, dose, turbidity, optical density, iron content, sorption

Город Тюмень снабжается питьевой водой из двух водозаборов: 40% – вода из подземных источников Велижанского водозабора и 60% – вода Метелевского водозабора, источником для которого служит р. Тура. Тура – самый длинный приток р. Тобол (1030 км), берет начало на восточном склоне Среднего Урала.

В створах Тюмени качество воды соответствует классу «чрезвычайно грязная». В р. Тура со стоками металлургических предприятий Свердловской области поступают свинец, олово, кадмий, хром, никель, медь, мышьяк, цинк. Содержание тяжелых металлов в 15–30 раз превышает ПДК. Содержание нефтепродуктов превышает ПДК в 10–30 раз [1].

Исследовали природную воду р. Тура в устье притока Тюменки. Издавна Тюменка была полноводной рекой с кристально чистой водой. По данным истории на левом берегу Тюменки была построена татарская крепость Чимги-Туру, а затем на высоком мысу между Турой и Тюменкой был возведен русский острог. Загрязнять Тюменку начали очень давно: в XIX в. – навозом, падалью, мусором; позже – мазутом со стороны железной дороги; с обоснованием на берегу Тюменки завода пластмасс – химикатами, аналогично происходит сброс сточных вод в реку другими предприятиями. Вид Тюменки в наше время представлен на рис. 1, вода превратилась в зловонную жижу темного цвета, испорченную городскими нечистотами.



Рис. 1. Устье р. Тюменка

Цель исследования – выбрать наиболее эффективные коагулянты и флокулянты в определенных дозах для очистки воды р. Тура (в устье р. Тюменка) от взвешенных и коллоидных частиц, общего железа с последующей доочисткой методом динамической сорбции.

Материалы и методы исследования

Основываясь на предыдущих исследованиях в качестве коагулянта выбрали полиоксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ торговой марки Аква-Аурат 30 (производитель ОАО «Аурат», г. Москва (Россия), пять флокулянтов, являющихся представителями разных типов [2, с. 43]. Анионный флокулянт Praestol 2531 TR, катионные флокулянты – Praestol 650 TR (производитель компания Solenis, г. Пермь (Россия)), Floпам 4140 SH (продукция компании SNF Floergert, Франция), полиакриламид-гель ПАА (производитель компания ХИМПЭК, г. Москва (Россия)) – амфотерный полиэлектролит, жидкое стекло $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ (производитель ООО «ГИДРОПАРТНЕР», г. Екатеринбург (Россия)) – полиэлектролит анионного типа, представляющий собой водный раствор силиката натрия, содержащий 22,9–39% SiO_2 и 8,6–14,6% Na_2O . Praestol 2531 TR – проявляет среднюю анионную активность, а Praestol 650 TR – среднюю катионную активность. Катионный флокулянт Floпам FO 4140 SH получают путем сополимеризации мономеров акриламида и метилхлорида – флокулянт с низкой и средней плотностью заряда. Флокулянты Floпам позволяют сократить дозировку коагулянтов, которые необходимы для дестабилизации

коллоидной смеси, значительно повышают уровень очистки вод. Выбор флокулянта (анионный или катионный) зависит от природы дестабилизированных частиц, которые присутствуют в воде [3].

Динамическая сорбционная доочистка проводилась с загрузкой сорбента КФГМ-7 (производитель ООО «Керамические сорбенты», г. Кыштым (Россия)) – керамического фильтрующего гранулированного материала, изготовленного из высококачественного каолина марки КАХ-2, который подвергается грануляции, дегидратации и специальной обработке.

В процессе работы были применены следующие методы и методики: методика проведения процесса коагулирования и флокулирования, метод измерения массовой концентрации общего железа и мутности (фотоколориметрический метод), метод динамической сорбционной доочистки на сорбенте марки КФГМ-7 [4].

Методики определения физических и химических показателей качества исходной воды

Для определения цветности был применен метод сравнительной оценки, выбор бихромат-кобальтовой шкалы обусловлен цветностью природных вод, характерной для заболоченных территорий Тюменской области [5, с. 22]. Прозрачность определяли методом шрифта – чтение стандартного шрифта через столб исследуемой воды [5, с. 23]. Плотность – ареометром [5, с. 17]. Общую жесткость – комплексометрическим титрованием Трилоном-Б синдикатором эриохромом черным в присутствии

аммонийной буферной смеси [5, с. 29]. Щелочность воды – титрованием соляной кислотой последовательно с индикатором фенолфталеином и метилоранжем [5, с. 32]. Общую кислотность – титрованием щелочью NaOH с индикатором фенолфталеином [5, с. 46].

Методика определения мутности

Был использован спектрофотометрический метод – ГОСТ Р 57164-2016. Измеряли оптическую плотность вод на фотометре ЗОМЗ КФК-3-01 при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм [6]. Оптическую плотность переводили в показатель мутности в связи с тем, что она не является показателем качества воды. Калибровочный график строили по стандартному образцу мутности (формазиновая суспензия) ГСО 7271-96.

Методика исследования эффективности различных доз коагулянта и флокулянтов

В 5 мерных цилиндров наливали по 250 мл исследуемой воды, в каждый из которых приливали мерной пипеткой различные объемы полиоксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ торговой марки Аква-Аурат 30 и тщательно перемешивали, по истечении 5 мин добавляли рассчитанные дозы флокулянтов. Коагулянт готовился в виде 5% раствора, флокулянты – в виде растворов с концентрацией 0,1%. В течение 4 ч каждые 30 мин отбирались пробы на глубине ниже уровня жидкости на 3–5 см, с последующим измерением в каждой пробе значений оптической плотности. Оптическую плотность переводили в показатель мутности с помощью калибровочного графика, строились зависимости изменения оптической плотности (мутности) от времени с целью анализа.

Методика определения содержания железа в природной воде

Определение содержания общего железа и приготовление растворов для анализа было выполнено согласно ПНД Ф 14.1:2.50-96 [7]. Оптическую плотность полученных растворов измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ при фиолетовом светофильтре при длине волны 410 нм и кювете с толщиной оптического слоя 5 см. Массовую концентрацию общего железа находили по градуировочному графику, построенному автоматически на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ.

Методика проведения сорбционной доочистки

Процесс сорбции проводили в динамических условиях, в качестве сорбента использовали КФГМ-7. Для проведения исследования сорбционного процесса собрали установку, состоящую из стеклянной колонки, загруженной слоем адсорбента, емкости для слива фильтрата. Исходя из оптимальной скорости для фильтрации через сорбент КФГМ-7 – до 4 м/ч, задались скоростью капания 3,3 м/ч. Высоту загрузочного слоя выбрали, исходя из минимальной рекомендованной высоты – 0,7 м. Отбирались пробы исследуемой воды объемом 60 мл и пропускались через сорбент.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлены физические и химические показатели качества воды р. Тура в устье притока Тюменки.

Определены оптимальная доза коагулянта $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ торговой марки Аква-Аурат 30 и максимально возможное уменьшение оптической плотности воды. Выявлена оптимальная дозировка: 0,75 мл (150 мг/л). Результаты представлены на рис. 2.

Таблица 1

Физические и химические показатели исходной воды

Объект	Цветность, град.	Прозрачность, см	Запах, балл	Вкус, балл	Плотность, кг/м ³	Жесткость, моль/л	pH	Щелочность, моль/л	Окисляемость, мг O ₂ /л	Концентрация железа, мг/л
Река Тюменка	30	20	3	3	0,996	1,1	5,3	1,5	25	3,28

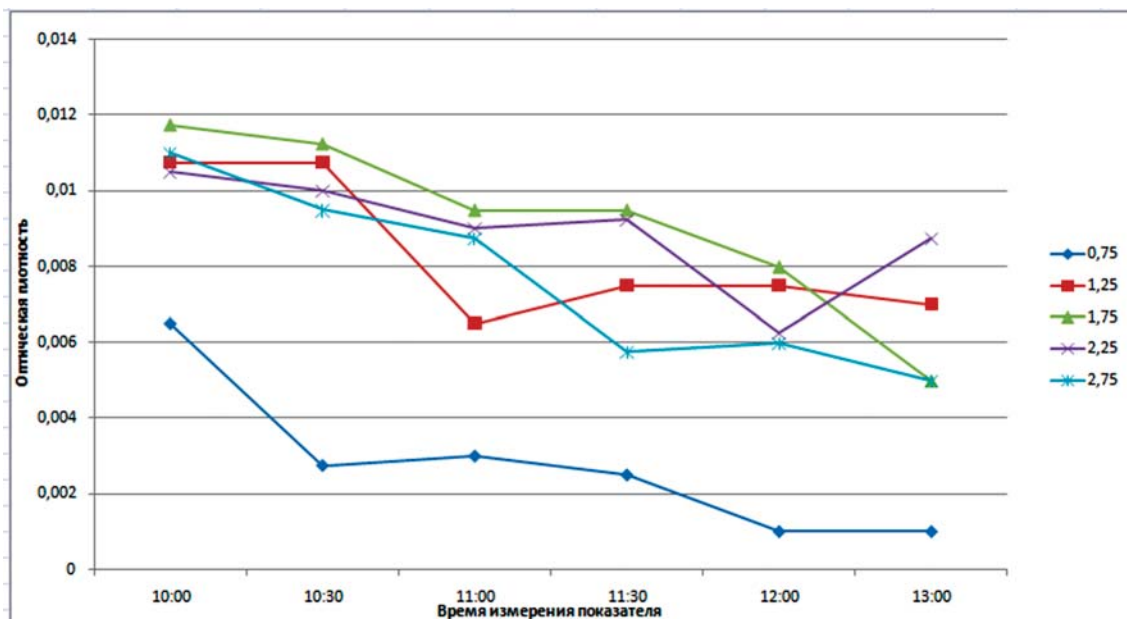


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания при добавлении коагулянта – Аква-Аурат 30

Для оптимальной дозы коагулянта оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность и составила 0,5 ЕФМ. Допустимое значение мутности для питьевых вод составляет 2,6 ЕФМ [8].

Для флокулянта Praestol 650 TR максимально возможное уменьшение оптической плотности вод наблюдается при следующих дозах: 0,625 и 0,750 мл. Для дозы Praestol 2531 TR 0,625 мл мутность составила 3,5 ЕФМ, 0,75 мл – 2 ЕФМ, показатель мутности для дозировки 0,75 мл находится в норме. Для флокулянта Praestol 2531 TR оптимальные дозировки: 0,25; 0,375 и 0,75 мл. Мутность для данных доз составила: 13,0; 12,0; 13,0 ЕФМ соответственно. Показатели мутности превышают норму в 4–5 раз, действие данного флокулянта неэффективно. Для флокулянта Flozam FO 4140 SH оптимальные дозировки – 0,25; 0,375 и 0,5 мл. Мутность для данных доз составила: 0,5; 3,0; 1,0 ЕФМ соответственно. Показатели мутности для дозы 0,25 и 0,5 мл находятся в норме. Для флокулянта полиакриламида оптимальные дозировки – 0,5 и 0,625 мл. Мутность для данных доз составила 12,0 ЕФМ. Показатели мутности для данных доз превышают норму в 4,6 раз, действие данного флокулянта неэффективно. Для флокулянта жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) оптимальные дозировки – 0,25 и 0,625 мл. Мутность для данных

доз составила: 10 и 10,5 ЕФМ соответственно. Показатели мутности для данных доз превышают норму в 3,8–4 раза, действие данного флокулянта неэффективно.

Таким образом с точки зрения снижения мутности природной воды наиболее эффективными оказались флокулянт Praestol 2531 TR – доза 0,75 мл и флокулянт Flozam FO 4140 SH для дозировок 0,25 и 0,5 мл

Общее содержание железа в исходной воде составило 3,28 мг/л. Концентрация железа в воде для разных доз с добавлением коагулянта и различных флокулянтов представлена в обобщающих табл. 2, 3.

Были выбраны оптимальные дозировки реагентов на основании наилучших показателей изменения оптической плотности и наименьшей концентрации железа.

Таблица 2

Концентрация общего железа в воде с добавлением коагулянта Аква-Аурат 30

Дозировка, мл	Концентрация общего железа, мг/л
0,75	0,05
1,25	0,04
1,75	0,25
2,25	0,33
2,75	0,28

Таблица 3

Концентрация общего железа в воде с добавлением различных флокулянтов

Дозировка, мл	Концентрация общего железа, мг/л				
	Praestol 2531 TR	Praestol 650 TR	Flopam FO 4140 SH	ПАА	Жидкое стекло
0,25	0,17	0,14	0,13	0,14	0,19
0,375	0,18	0,13	0,25	0,14	0,19
0,5	0,16	0,17	0,27	0,16	0,21
0,625	0,16	0,14	0,29	0,14	0,2
0,75	0,13	0,09	0,3	0,19	0,19

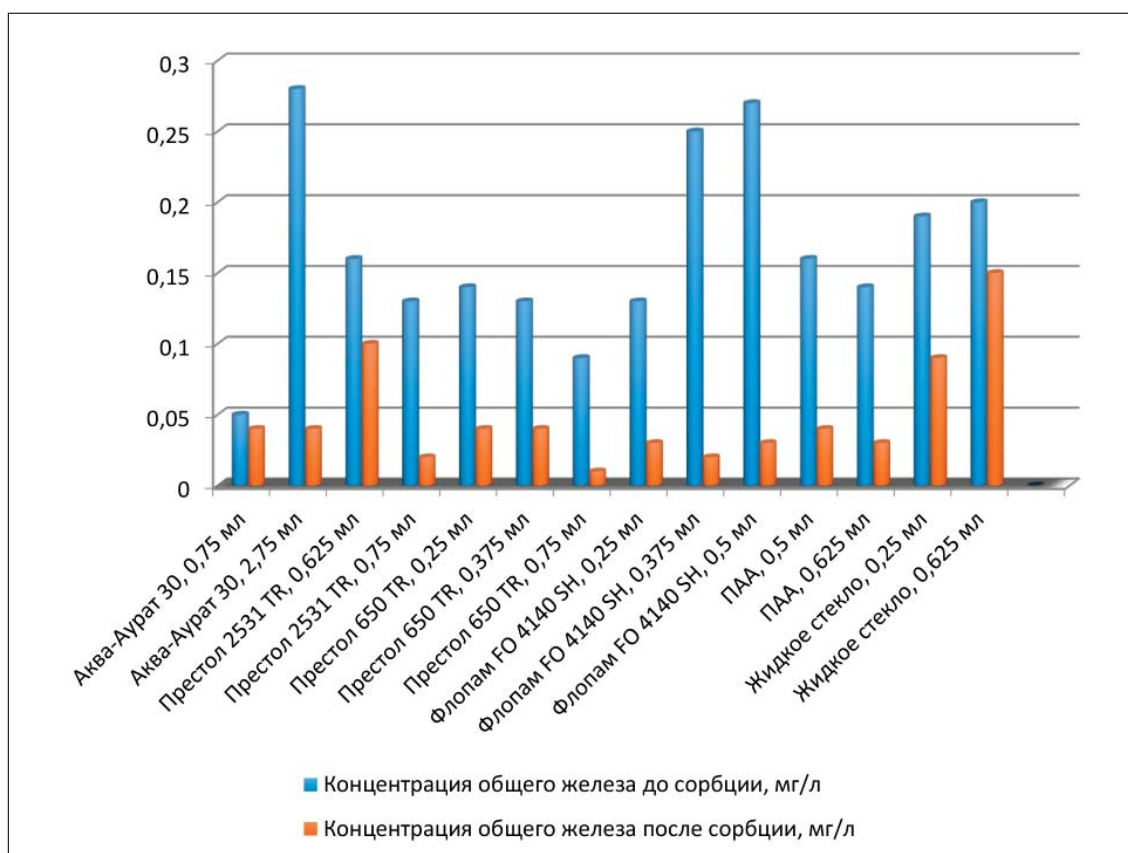


Рис. 3. Концентрации железа в воде до и после сорбционной очистки

Коагулянт Аква-Аурат 30, дозировка 0,75 мл. Флокулянты: Praestol 2531TR – 0,625 и 0,75 мл, Praestol 650 TR – 0,25; 0,375 и 0,75 мл, Flopam FO 4140 SH – 0,25; 0,375 и 0,5 мл, ПАА – 0,5 и 0,625 мл, жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) – 0,25 и 0,625 мл.

Сорбционной доочистке подверглись только образцы с оптимальными дозировками. Отбирались пробы исследуемой воды объемом 60 мл и пропускались через сорбент, очищенная вода повторно измерялась на концентрацию железа и оптическую плот-

ность с дальнейшим переводом в показатель мутности. Сравнительные концентрации железа в исследуемых пробах воды до и после сорбционной очистки представлены (рис. 3).

Наглядно видно на диаграмме, какой реагент и при какой дозировке дал существенный результат. Незначительное изменение концентрации общего железа после сорбции показали флокулянт жидкое стекло (0,625 мл) и Praestol 2531 TR (0,625 мл). Максимальное снижение содержания общего железа показал флокулянт Praestol 650 TR (0,75 мл).

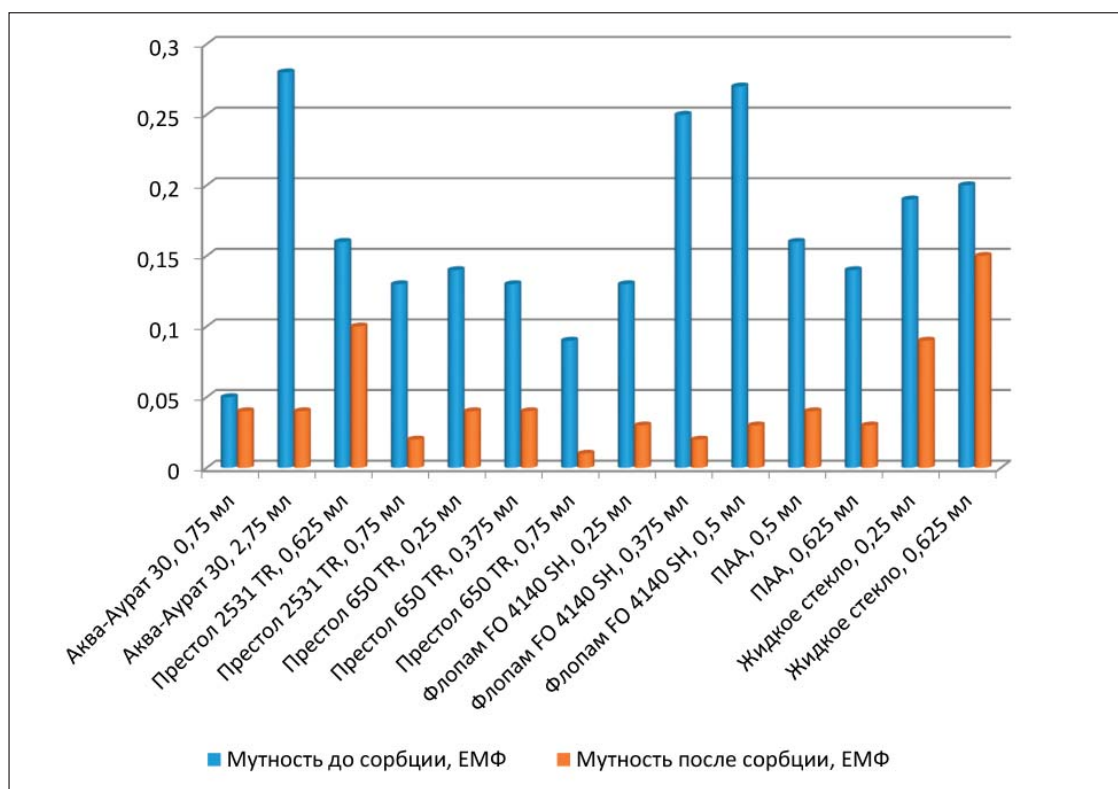


Рис. 4. Мутность воды до и после сорбции

Также сравнительная диаграмма составлена по показателю мутности (рис. 4).

Незначительное изменение по показателю мутности после сорбции показали флокулянты – жидкое стекло (0,625 мл) и Praestol 2531 TR (0,625 мл). Максимальное понижение мутности – Praestol 650 TR (0,75 мл).

Заключение

На основании проведенных исследований с точки зрения понижения мутности природной воды наиболее эффективными после коагулирования с последующим флокулированием оказались следующие реагенты: коагулянт $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ доза – 0,75 мл, флокулянт Praestol 650 TR – доза 0,75 мл и флокулянт Flopam FO 4140 SH для дозировок 0,25 и 0,5 мл.

После сорбционной доочистки с точки зрения понижения мутности и содержания общего железа наиболее эффективными оказались: коагулянт Аква-Аурат 30 – 0,75 мл, флокулянты: Praestol 2531 TR – 0,625 и 0,75 мл, Praestol 650 TR – 0,25; 0,375 и 0,75 мл, Flopam FO 4140 SH – 0,25; 0,375 и 0,5 мл, ПАА – 0,5 и 0,625 мл, жидкое стекло ($Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$) – 0,25 и 0,625 мл.

Максимальное снижение концентрации общего железа до 0,13 мг/л и мутности до

0,125 ЕФМ наблюдалось при введении флокулянта Praestol 650 TR – дозировкой 0,75 мл.

Список литературы

1. Артеменко С.В., Петухова Г.А. Биозкологическое исследование воды урбанизированных участков реки Туры // Вестник Тюменского Государственного университета. 2013. № 12. С. 199–203.
2. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане / ООО «ИГ «ИНФОМАЙН». 3-е изд. М.: Апрель, 2015. 134 с.
3. Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Мауричева Т.С. Применение флокулянтов в процессе водоподготовки // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2019. Т. 57, № 1. С. 91–101.
4. Михайлов Г.Г., Лонзингер Т.М., Морозова А.Г., Скотников В.А. Опыт использования неорганического композиционного сорбента для реабилитации природных объектов, загрязненных тяжелыми металлами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 1. С. 50–57.
5. Качалова Г.С., Казанцева Е.Ю. Химия воды. Учебное пособие. Тюмень: ТИУ, 2019. 140 с.
6. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2016.
7. ПНД Ф 14.1:2.50-96. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой от 20 марта 1995 г. // Официальный интернет-портал правовой информации, 1996.
8. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Зарегистрирован в Минюсте России, 29.01.2021. № 62297. 66 с.