

## ОЧИСТКА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ РЕКИ КАЗЫМ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ГОРОДА БЕЛОЯРСКИЙ

Качалова Г. С.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация,  
e-mail: galinakachalova@mail.ru*

В целях модернизации технологического процесса подготовки воды р. Казым на водоочистных сооружениях г. Белоярский провели анализ природной воды и проанализировали несколько вариантов ее коагуляционно-флокуляционной очистки. Цель исследования – повысить степень очистки природной воды р. Казым посредством расчета эффективных порций вводимых разнотипных коагулянтов и флокулянтов, а также внедрения завершающей ступени сорбционной доочистки. В процессе научного эксперимента использованы современные методы: определения физических и химических показателей качества воды, определения мутности и содержания железа, метод динамической сорбции. Взяты перечисленные коагулянт и флокулянты: Аква-Аурат 30, флокулянты Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam 4115 SH, Flopam 4140 SH, полиакриламид-гель (ПАА), жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), сорбент марки КФГМ-7. Как итог серии экспериментов предлагается усовершенствованный вариант обработки воды с применением коагулянта и флокулянтов в эффективных количествах с внедрением завершающей ступени сорбционной доочистки на сорбенте КФГМ-7, резко уменьшающий уровень показателей мутности и концентраций железа в воде по сравнению с действующей технологией очистки в г. Белоярский ОАО «ЮКЭК-Белоярский».

**Ключевые слова:** природная вода, показатели качества воды, коагулянт, флокулянт, мутность, оптическая плотность, содержание железа, сорбция

## PURIFICATION OF THE NATURAL WATER OF THE KAZYM RIVER AT THE SEWAGE TREATMENT PLANTS OF THE CITY OF BELOYARSK

Kachalova G. S.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Tyumen Industrial University”, Tyumen, Russian Federation,  
e-mail: galinakachalova@mail.ru*

In order to modernize the technological process of water treatment of the Kazym River, the water treatment facilities of the city of Beloyarsky carried out an analysis of natural water and analyzed several options for coagulation-flocculation water purification. The purpose of the study is to increase the degree of purification of the natural water of the Kazym River by calculating the effective portions of different types of coagulants and flocculants, as well as by introducing the final stage of sorption post-treatment. Modern methods were used in the scientific experiment: determination of physical and chemical indicators of water quality, determination of turbidity and iron content, and the dynamic sorption method. The following coagulants and flocculants were used: Aqua Aurat-30, Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam 4115 SH, Flopam 4140 SH, polyacrylamide gel (PAA), liquid glass ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), and KFGM-7 sorbent. As a result of a series of experiments, an improved version of water treatment using coagulants and flocculants in effective amounts is proposed, with the introduction of a final stage of sorption post-treatment using the KFGM-7 sorbent, which significantly reduces the level of turbidity and iron concentrations in water compared to the current treatment technology used by the YUKEK-Beloyarsky Open Joint-Stock Company in Beloyarsky.

**Keywords:** natural water, water quality indicators, coagulant, flocculant, turbidity, optical density, iron content, sorption

### Введение

Город Белоярский является административным центром Белоярского района, расположенного на берегу р. Казым, впадающей в Обь. Отличительной чертой реки является короткое по длительности половодье, протекающее в мае и июне. После половодья река сильно мелеет, из-за этого вскрываются широкие песчаные косы, ближе к истокам. Река замерзает в середине осени, лед начинает свое движение лишь в конце весны. Судосходна до г. Белоярский.

В 1980-х гг. в связи с освоением нефтегазовых месторождений начал активно разви-

ваться г. Белоярский, в течение нескольких лет население города выросло до 20 тыс. чел. Одновременно с этим развивалась и система водоснабжения, по истечении 40 лет качество воды, подаваемой потребителям, ухудшилось, возникла необходимость проанализировать и принять новую схему водоочистки природной воды р. Казым с целью улучшения ее качества<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup> Административный сайт города Белоярский. [Электронный ресурс]. URL: <https://admbelgor.ru/> (дата обращения: 20.09.2025).

<sup>2</sup> Казым. [Электронный ресурс]. URL: <https://catcher.fish/enciklopedia/vodoemy/urfo/kazy-m> (дата обращения: 20.09.2025).

**Цель исследования** – разработка рекомендаций для модернизации технологического процесса водоподготовки на водоочистных сооружениях г. Белоярский ОАО «ЮКЭК-Белоярский», в основу которых заложен расчет эффективных порций разнотипных коагулянтов и флокулянтов, а также внедрение завершающей ступени сорбционной доочистки.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в научно-исследовательской неаккредитованной лаборатории кафедры общей и специальной химии Тюменского индустриального университета. При выборе коагулянтов на основе анализа применяемых коагулянтов, по многим показателям лучшим оказался оксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  (ОХА) торговой марки «Аква-Аурат 30», с которым в дальнейшем проводился эксперимент. В настоящее время он является современным эффективным коагулянтом, применяемым для очистки и подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения, а также очистки сточных вод. Основным действующим компонентом «Аква-Аурат 30» является полиоксихлорид алюминия (30 % по  $Al_2O_3$ ), который гораздо более эффективен, чем сульфат алюминия, и, по сравнению с ним, обладает рядом преимуществ. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [1]. ОХА обладает низкой кислотностью и используется при большом диапазоне рН. Параметр рН воды при использовании оксихлорида алюминия не изменяется, что позволяет не применять дополнительные средства для ее нейтрализации. Высокая эффективность и, как следствие, низкий расход коагулянта (1 т «Аква-Аурат 30» по эффективности эквивалентна 4 т сульфата алюминия). Коагулянт готовился в виде растворов с концентрацией 5 %.

Для проведения анализа определены 6 наилучших флокулянтов для очистки природной воды [2–4]. Выбрали флокулянты различных типов: анионные, катионные, неионогенные. Флокулянты Praestol 2531 TR и жидкое стекло ( $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ ) относятся к анионным. Praestol 650 TR, Floram 4115 SH, Floram 4140 SH выступают в качестве катионных, полиакриламид-гель (ПАА) является неионогенным. Эффективность действия флокулянтов зависит от типа выбранного флокулянта [5, 6]. Флокулянты марки Praestol TR подходят

именно для обработки питьевых вод. Флокулянты готовились в виде растворов с концентрацией 0,1 %.

Сорбционная доочистка проводилась с загрузкой КФГМ-7, представляющего собой керамический, фильтрующий материал в виде гранул коричневого цвета, относящийся к композиционному типу [7–9].

*Методы определения физических и химических показателей качества исходной воды:* при отборе проб для анализа воды пользовались ГОСТ Р 59024-2020 [10]. При проведении первичного анализа воды на определение исходных показателей (цветность, прозрачность, запах, вкус, плотность, жесткость, рН, щелочность, окисляемость) были использованы методики: ГОСТ 31868-2012, РД 52.24.496-2018, ГОСТ 18995.1-73, ГОСТ 31954-2012, ПНД Ф 14.1:2:3:4.1, ГОСТ 31957-2012, ГОСТ Р 55684-2013.

*Метод определения мутности:* использовали спектрофотометрический метод согласно ГОСТ Р 57164-2016. Оптическую плотность вод измеряли на фотометре КФК-3-01- «ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм [11]. Для перевода оптической плотности в мутность строили калибровочный график по стандартному образцу мутности (формазинная суспензия) ГСО 7271-96 [12].

*Метод определения содержания железа в природной воде:* содержание железа, а также приготовление растворов для анализа было выполнено согласно ПНД Ф 14.1:2.50-96 [13]. 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 на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ.

*Метод адсорбционной доочистки:* процесс адсорбции проводили в динамике, в качестве сорбента использовали КФГМ-7. Для проведения исследования сорбционного процесса собрали установку, состоящую из адсорбционной колонки с адсорбентом, стаканчика для фильтрата. Опираясь на рекомендуемую, оптимальную скорость для фильтрования через сорбент КФГМ-7, равную 4 м/ч, для удобства проведения эксперимента установили скорость 3,3 м/ч. Высоту загрузки сорбента выбрали, исходя из минимально рекомендованной высоты 0,7 м. Пробы анализируемой воды объемом 60 мл заливали в колонку и фильтровали [14].

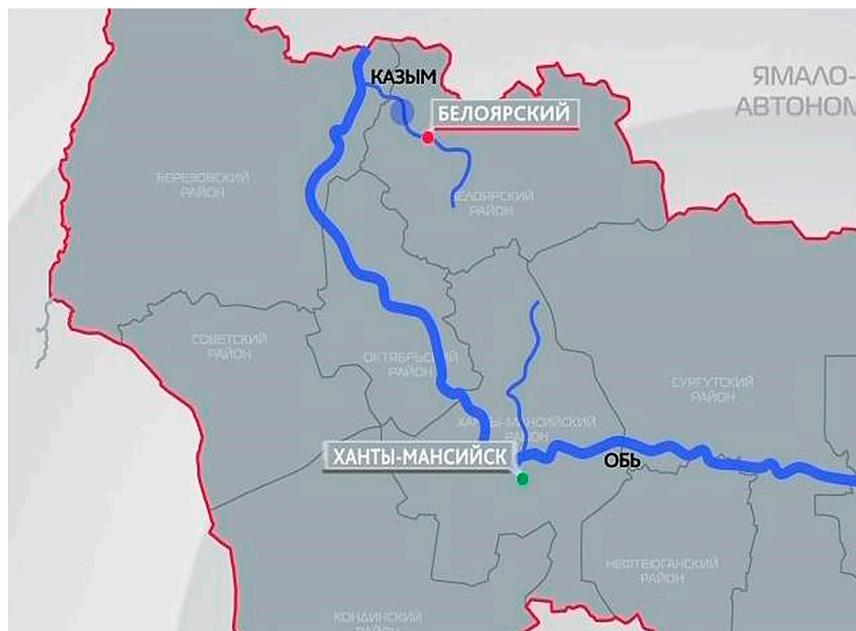


Рис. 1. Река Казым, северная река в ХМАО-Югре, правый приток Оби

Таблица 1

Исходные показатели качества исследуемой воды

Позиция	Цветность, град. шкала 2	Прозрачность, см	Запах, баллы	Вкус, баллы	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Жесткость, ммоль/дм <sup>3</sup>	pH	Щелочность, ммоль/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Мутность, ЕМФ
Река Казым	50	11	3	1	0,997	0,8	4,0	0,8	8,4	41,5

Примечание: составлена автором на основании полученных данных в ходе исследования.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты анализа исходных показателей качества природной воды р. Казым представлены в табл. 1.

Показатели качества исследуемой воды реки Казым в месте водозабора средние за год. Мутность по наблюдениям, как правило, была меньше 40,0 ЕМФ.

Эффективность действия различных доз коагулянта на снижение мутности природной воды показана в табл. 2. Эксперимент проводился в пяти различных дозировках. В 5 цилиндров объемом 250 мл наливали исследуемую воду р. Казым. При помощи пипетки отбирали необходимую дозировку коагулянта и добавляли к исследуемой воде. После перемешивания (25–35 с) по истечении 5 мин на протяжении 4,5 ч отбирали каждые 30 мин пробы для фиксирования

результатов по оптической плотности, которые затем были переведены в мутность.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 нормативный показатель мутности для питьевых вод не более 2,6 (3,5) ЕМФ [15]. Анализ полученных данных показал, что после коагуляции мутность воды превышает нормативный показатель, что говорит о необходимости использования флокулянтов.

Исследована эффективность действия различных доз флокулянтов на снижение показателя мутности воды, выявлены оптимальные дозы флокулянтов. Методика исследования процесса флокуляции аналогична методике исследования процесса коагуляции. На рис. 2 показано изменение оптической плотности воды (при длине волны падающего излучения 530 нм) в процессе флокуляции оптимальными дозами флокулянтов во времени.

Таблица 2

Эффективность действия различных доз коагулянта на снижение мутности природной воды

Дозировка коагулянта	Мутность после коагуляции, ЕМФ	Значение оптической плотности
Исходная	41,5	0,112
0,75 мл Аква-Аурат™30	7,4	0,020
1,25 мл Аква-Аурат™30	6,7	0,018
1,75 мл Аква-Аурат™30	8,1	0,022
2,25 мл Аква-Аурат™30	6,3	0,017
2,75 мл Аква-Аурат™30	7,0	0,019

Примечание: составлена автором на основании полученных данных в ходе исследования.

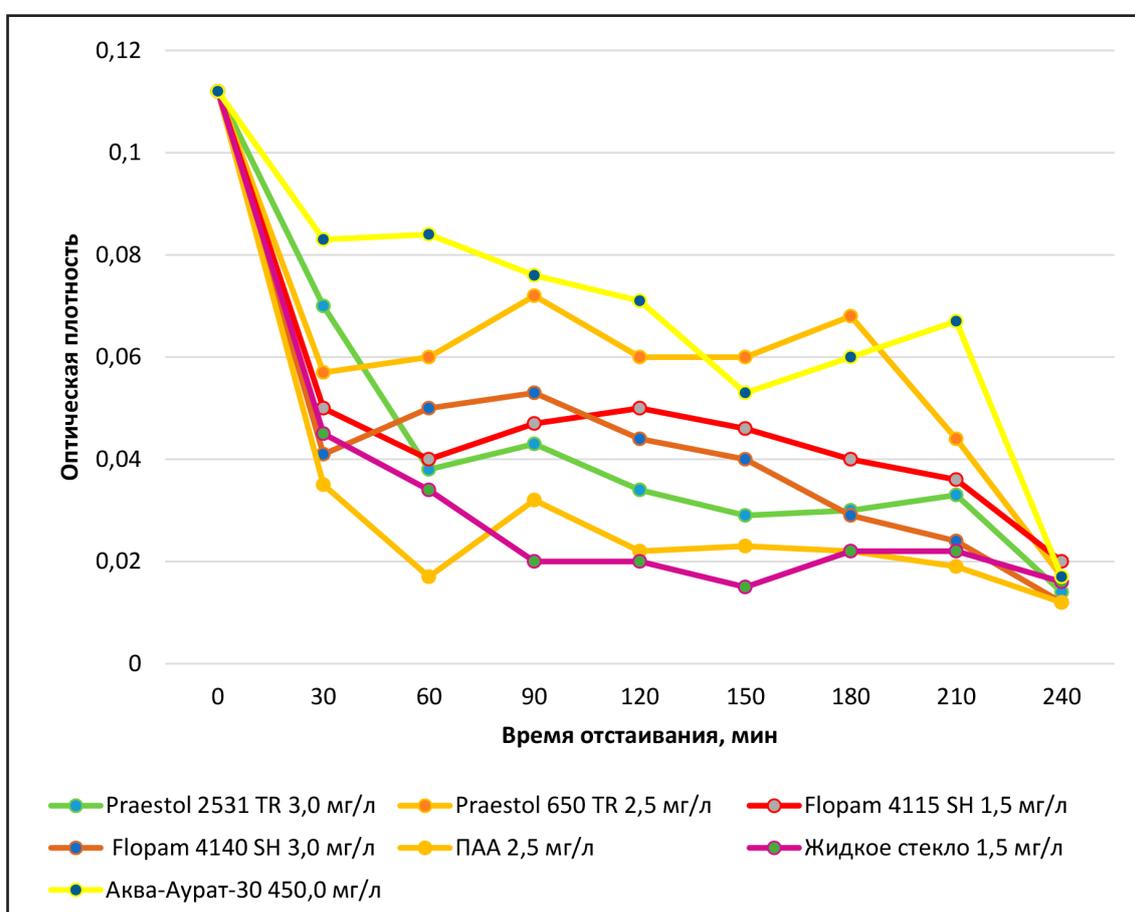


Рис. 2. Зависимость оптической плотности воды от времени отстаивания в присутствии различных флокулянтов в оптимальных дозах  
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Величины оптической плотности и мутности при введении оптимальных доз коагулянта и флокулянтов приведены в табл. 3.

Как видно, минимальная мутность при использовании коагулирования с последу-

ющим флокулированием выше нормативного показателя мутности для питьевых вод в 1,7–2,8 раза, что обусловило необходимость использования процесса сорбционной доочистки природной воды.

Таблица 3

Значения оптической плотности и мутности воды при оптимальных дозах исследуемых коагулянта и флокулянтов

Реагенты	Дозировка, мг/л	Оптическая плотность*	Мутность, ЕМФ
Исходная	–	0,112	41,5
Аква-Аурат 30	450	0,017	6,3
Praestol 650 TR	2,5	0,017	6,3
Praestol 2531TR	3,0	0,014	5,2
Floram 4140 SH	3,0	0,012	4,4
Floram 4115 SH	1,5	0,020	7,4
Полиакриламид	2,5	0,012	4,4
Жидкое стекло	1,5	0,016	5,9

Примечание: составлена автором на основании полученных данных в ходе исследования.

\*Оптическая плотность (ОП) – безразмерная величина.

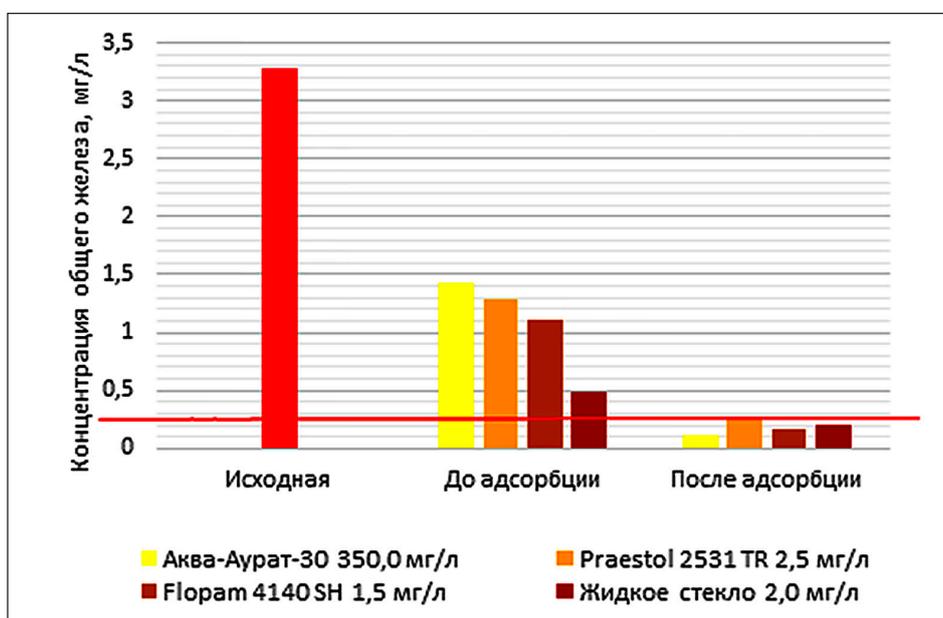


Рис. 3. Величины концентраций общего железа в пробах после коагуляционно-флокуляционной обработки до и после адсорбции  
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Сорбционная доочистка воды является глубоким очищением с высокой эффективностью, цель достигается путем соединения на молекулярном уровне частиц химических веществ с примесями. Данным методом удаляются даже органические соединения, которые невозможно вывести другими способами.

Пробы воды пропускали через собранную установку, далее исследуемая вода проверялась на содержание общего железа и значениям мутности. На рис. 3 представлены концентрации общего железа в пробах, подвергшихся коагуляционно-флоку-

ляционной обработке до и после сорбции. Общее содержание железа в исходной воде 3,28 мг/л, что превышает нормативный показатель в 10 раз. По содержанию общего железа после адсорбции высокие результаты дали следующие реагенты: Аква-Аурат 30, Floram 4140 SH, Praestol 2531 TR, жидкое стекло. На рис. 3 отражена зависимость концентрации общего железа при использовании коагулянта Аква-Аурат 30, флокулянтов: Floram 4140 SH, Praestol 2531 TR, жидкое стекло в соответствующих дозировках до и после адсорбции.

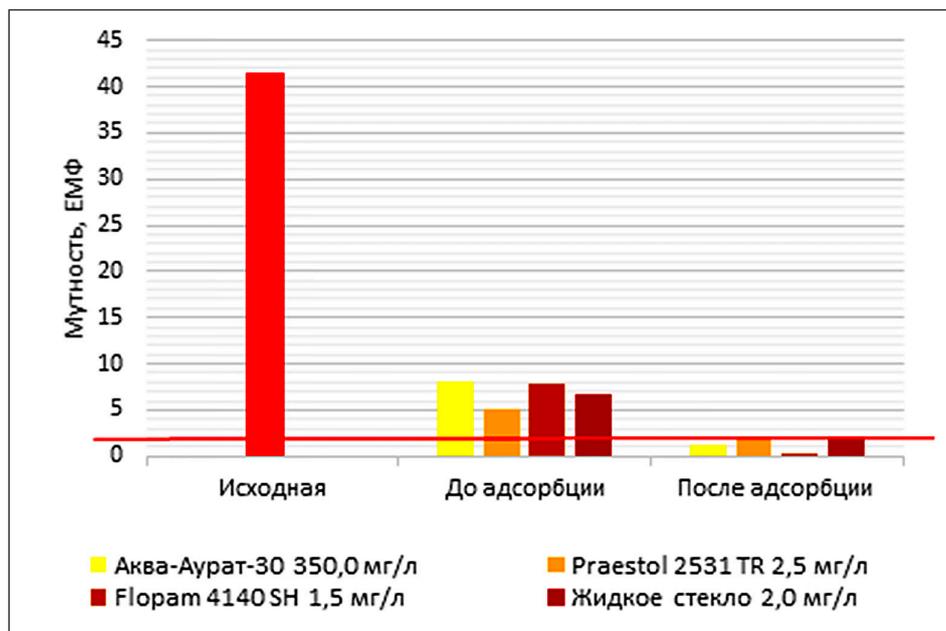


Рис. 4. Мутность воды после коагуляции-флокуляции до и после адсорбции  
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Проведены исследования по влиянию сорбционной доочистки на мутность природной воды. Величины мутности в анализируемых пробах воды, после коагуляционно-флокуляционной обработки до и после адсорбции показаны на рис. 4.

По степени уменьшения мутности воды хорошие результаты также показали следующие реагенты: Аква-Аурат 30 (350 мг/л), Floram 4140 SH (1,5 мг/л), Praestol 2531 TR (2,5 мг/л), жидкое стекло (2,0 мг/л) после коагуляционно-флокуляционной обработки с последующей сорбционной доочисткой.

### Заключение

При действующем технологическом режиме в ОАО «ЮКЭК-Белоярский» вода, подаваемая потребителю после очистки, не соответствует требованиям ГОСТ Р 51232-98 по показателям мутности и общего железа. Опираясь на результаты исследования, рекомендуем в процессе водоподготовки воды для снабжения г. Белоярский следующие дозы коагулянта и флокулянтов: Аква Аурат 30 (350 мг/л); Praestol 2531 TR (2,5 мг/л); Floram 4140 SH (1,5 мг/л); жидкое стекло (2 мг/л), а также введение заключительной стадии фильтрования через адсорбент КФГМ-7. Рекомендуемые дозы были выбраны исходя из показателей концентрации общего железа и мутности после сорбционной доочистки. На выходе очищенная вода

по показателям мутности и общего железа соответствует существующим санитарным правилам и нормам.

### Список литературы

1. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России, ЕАЭС и мире / ООО «ИГ «ИНФОМАЙН». 4-е изд. М.: 2024, 141 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://infomine.ru/research/15/259> (дата обращения: 15.01.2026).
2. 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. URL: <https://snt-isuct.ru/article/view/1244> (дата обращения: 15.01.2026).
3. Jabbar K. Q., Barzinjy A. A., Hamad S. M. Iron oxide nanoparticles: Preparation methods, functions, adsorption and coagulation/flocculation in wastewater treatment // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2022. Т. 17. С. 100661. DOI: 10.1016/j.enmm.2022.100661.
4. Zaharia C., Musteret C. P., Afrasinei M. A. The use of coagulation–flocculation for industrial colored wastewater treatment – (I) the application of hybrid materials // Applied Sciences. 2024. Т. 4. № 5. С. 2184. DOI: 10.3390/app14052184.
5. Ho Q. N. et al. Flocculation with heterogeneous composition in water environments: a review // Water Research. 2022. Т. 213. С. 118–147. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118147.
6. Ali W. et al. Effect of flocculation on turbidity currents // Frontiers in earth science. 2022. Т. 10. С. 1014–1170. DOI: 10.3389/feart.2022.1014170.
7. Тимофеев К., Акулич Л. Сорбционная доочистка карьерных и подотвальных вод на рудных предприятиях // Вода Magazine. 14.09.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://termagazine.ru/nauchnye-stati2/novye-stati/24362-sorbtsionnaya-doochistka-karernykh-i-podotvalnykh-vod-na-rud-predpriyatiyakh.html> (дата обращения: 15.01.2026).
8. Юсубов Ф. В. Адсорбция тяжелых ионов металлов Cu{2+}, Zn{2+} и Ni{2+} из промышленной воды // Переходные технологии и материалы будущего: сборник статей IV Международной научно-технической конференции «Мин-

ские научные чтения – 2021» (Минск, 9 декабря 2021 г.). Минск: БГТУ, 2021. Т. 1. С. 364–368. [Электронный ресурс]. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/44353> (дата обращения: 15.01.2026).

9. Мирзаева Е. И., Исаева Н. Ф., Ялгашев Э. Я., Турдиева Д. П., Боймонов Р. М. Получение адсорбентов для извлечения тяжелых металлов из сточных вод горнорудной промышленности // Горные науки и технологии. 2025. Т. 10. № 1. С. 45–55. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-02-224.

10. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб: разработан: Техническим комитетом ТК 343 совместно с Закрытым акционерным обществом «РОСА» (ЗАО «РОСА») 10 сентября 2020 г. М., 2020. 27 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200175475/titles> (дата обращения: 15.01.2026).

11. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/In-dex2/1/4293751/4293751153.htm> (дата обращения: 15.01.2026).

12. Качалова Г. С. Выбор оптимального сочетания реагентов для очистки сточных вод аккумуляторного про-

изводства // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 54–59. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37331> (дата обращения: 15.01.2026). DOI: 10.17513/use.37331.

13. 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. 24 // Официальный интернет-портал правовой информации, 1996. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 15.01.2026).

14. Kachalova G. S., Chuklin K. A. Sorption post-treatment of accumulator waste // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 962. Wales. 2020. P. 042081.

15. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Главный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 28 января 2021 г. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 15.01.2026).

**Конфликт интересов:** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The author declares that there is no conflict of interest.