



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 10, № 2, 2019
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.09

УДК 628.316.13

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.С. Смирнова, С.А. Худорожкова, О.И. Ручкина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 04 декабря 2018
Принята: 26 февраля 2019
Опубликована: 28 июня 2019

Ключевые слова:

сточные воды, реагенты, тяжелые цветные металлы, флокуляция, коагуляция, осаждение, доза реагента, промывные воды.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу реагентных методов, подбору реагентов и оптимальных доз для процесса проведения очистки производственных сточных вод от ионов тяжелых цветных металлов, таких как аммиакат меди, сульфат меди, никель, шестивалентный хром. Представлены данные о стоимости каждого используемого реагента, а также таблица с исходными данными. Описан ход экспериментальных работ, значение pH, начальная концентрация металла и дозы применяемых реагентов. Приведены графические результаты экспериментальных работ по очистке промывных вод с содержанием различных цветных металлов, на которых указаны конечные концентрации металлов и стоимость очистки 1 м³ стока. В результате анализа были сделаны выводы об эффективности различных используемых реагентов на ионы тяжелых цветных металлов. Критерием эффективности очистки промывных вод являлась возможность достижения предельно допустимой концентрации для сброса в рыбохозяйственный водоем (ПДК р/х), допустимой концентрации для сброса в централизованную систему водоотведения города (ДКЦСВ) и нормативы допустимого сброса для предприятия (НДС). Найдены оптимальные условия реагентной очистки промывных вод, с учетом возможности достижения каждого рассмотренного критерия эффективности очистки, при минимальной стоимости реагентов. Применение реагентной очистки промывных вод требует последующей нейтрализации очищенных сточных вод. Выбор технологической схемы очистки промывных вод от ионов тяжелых цветных металлов будет определяться, с одной стороны, ионом тяжелого цветного металла, содержащегося в сточных водах, а с другой стороны – необходимостью достижения требуемого критерия очистки.

© ПНИПУ

© Смирнова Валерия Сергеевна – студентка, e-mail: lera-smirnova-1994@mail.ru.

Худорожкова Светлана Андреевна – студентка, e-mail: sveta-hudorjkova@yandex.ru.

Ручкина Ольга Ивановна – доктор технических наук, профессор, e-mail: xgogax@mail.ru.

Valeria S. Smirnova – Student, e-mail: lera-smirnova-1994@mail.ru.

Svetlana A. Hudorozhkova – Student, e-mail: sveta-hudorjkova@yandex.ru.

Olga I. Ruchkinova – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: xgogax@mail.ru.

SUBSTANTIATION OF OPTIMAL CONDITIONS FOR THE REAGENT PURIFICATION OF WASH WATER FROM HEAVY NON-FERROUS METAL IONS

V.S. Smirnova, S.A. Hudorozhkova, O.I. Ruchkinova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 04 December 2018

Accepted: 26 February 2019

Published: 28 June 2019

Keywords:

wastewater, reagents, heavy non-ferrous metals, flocculation, coagulation, sedimentation, dose of reagent, wash water.

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of reagent methods, selection of reagents and optimal doses for the process of carrying out the purification of industrial wastewater from heavy non-ferrous metal ions, such as copper ammonium, copper sulfate, nickel, hexavalent chromium. Presents data on the cost of each reagent used, as well as a table with the original data. The course of the experimental work, the pH value, the initial metal concentration and the dose of the reagents used are described. The graphic results of experimental work on the purification of wash water containing various non-ferrous metals are given, which show the final concentrations of metals and the cost of cleaning 1 cub m of runoff. As a result of the analysis, conclusions were made about the effectiveness of the various reagents used on heavy non-ferrous metal ions. The criterion for the efficiency of cleaning the wash water was the possibility of achieving the maximum permissible concentration for discharge into the fishery reservoir, the permissible concentration for discharge into the centralized water disposal system of the city and standards for permissible discharge for the enterprise. The optimal conditions for reagent purification of wash water are found, taking into account the possibility of achieving each considered criterion of purification efficiency, with the minimum cost of reagents. The use of reagent purification of wash water requires subsequent neutralization of treated wastewater. The choice of the technological scheme of purification of wash water from heavy non-ferrous metal ions will be determined, on the one hand, from the heavy non-ferrous metal ion contained in the wastewater, and on the other hand, from the need to achieve the required cleaning criterion.

© PNRPU

Сточные воды, загрязненные ионами тяжелых цветных металлов, являются опасными источниками загрязнения [1, 2]. Необходимо эффективно очищать данные стоки, чтобы избежать загрязнения окружающей среды [3]. Наиболее распространенным и доступным методом очистки сточных вод от цветных металлов является реагентный метод [4, 5]. В настоящее время используются самые различные реагенты для очистки [6, 7]. Поиск наиболее эффективных и доступных реагентов для очистки от различных цветных металлов является актуальной задачей [8, 9]. Несмотря на изученность реагентного метода очистки стоков, подбор оптимальных условий и конкретного реагента для очистки от тех или иных ионов тяжелых цветных металлов осуществляется эмпирическим способом [10, 11].

Целью работы являлось обоснование условий реагентной очистки промывных вод, содержащих ионы тяжелых цветных металлов, таких как медь, никель, шестивалентный хром. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) выбор реагента для очистки промывных вод от ионов тяжелых цветных металлов;
- 2) определение эффективности примененного реагента для каждого вида промывной воды.

Объектом исследования выбраны промывные воды промышленного предприятия. Предметом исследования являлось рассмотрение эффективности реагентов для каждого вида промывных вод.

В статье рассмотрены сточные воды, содержащие аммиакат меди, сульфат меди, никель и шестивалентный хром. Данные стоки образуются в результате промывки производственных реакторов. Их очистка осуществлялась при помощи реагентов, стоимость которых по данным [12] представлена в табл. 1.

Таблица 1

Стоимость различных реагентов

Table 1

Cost of various reagents

№ п/п	Название реагента	Цена за кг, руб.
1	Едкий натр (NaOH)	54
2	Праестол 2530	240
3	Известь (Ca(OH) ₂)	20
4	Натрий сернистый (Na ₂ S)	99
5	Гидроксохлорид алюминия (ГХА)	205
6	ВПК 402	200
7	Пиросульфит натрия (Na ₂ S ₂ O ₅)	99
8	Серная кислота (H ₂ SO ₄)	35

Экспериментальные работы

В результате экспериментальных работ проанализирована эффективность очистки сточных вод от ионов тяжелых цветных металлов различными реагентами, а также рассчитана стоимость очистки 1 м³ промывных вод для каждого варианта очистки. Исходные данные для проведения экспериментальных работ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для проведения экспериментальных работ

Table 2

Baseline data for experimental work

Номер варианта очистки	Реагент	Доза реагента
1. Промывные воды с содержанием аммиката меди: pH = 9,74		
1	NaOH (12 %) + Праестол 2530	1,2 г/л + 2 мг/л
2	Ca(OH) ₂ + Праестол 2530	8 г/л + 2 мг/л
3		4 г/л + 2 мг/л
4	Na ₂ S + ГХА + Праестол 2530	0,4 г/л + 0,125 г/л + 2 мг/л
5		0,8 г/л + 0,125 г/л + 2 мг/л
2. Промывные воды с содержанием сульфата меди: pH = 4,7		
1	NaOH (12 %) + Праестол 2530	2,16 г/л + 2 мг/л
2	NaOH (12 %) + ВПК 402	2,16 г/л + 1 мг/л
3	Ca(OH) ₂ + ВПК 402	2 г/л + 2 мг/л
4	Na ₂ S + ГХА + Праестол 2530	6 г/л + 0,1 г/л + 2 мг/л
5	Na ₂ S + ВПК 402	8 г/л + 2 мг/л
3. Промывные воды с содержанием никеля: pH = 7,15		
1	Ca(OH) ₂ + Праестол 2530	0,8 г/л + 1 мг/л
2		0,6 г/л + 0,5 мг/л
3	NaOH (12 %) + Праестол 2530	1,2 г/л + 1 мг/л
4. Промывные воды с содержанием шестивалентного хрома: pH = 8,8		
1	H ₂ SO ₄ (33 %) + Na ₂ S ₂ O ₅ (10 %) + Ca(OH) ₂ + Праестол 2530	1,32 г/л + 0,2 г/л + 0,75 г/л + 2 мг/л
2		1,32 г/л + 0,1 г/л + 0,7 г/л + 2 мг/л
3		1,32 г/л + 0,05 г/л + 1 г/л + 2 мг/л

1. Для промывных вод с содержанием аммиката меди было реализовано 5 вариантов очистки. Начальная концентрация металла в воде составляла 5,9 мг/л. Каждый вариант включал процесс осаждения взвешенных веществ, образование которых произошло в ре-

зультате флокуляции и коагуляции. В первых трех вариантах очистки добавлялся только флокулянт марки «Праестол 2530». В результате добавления едкого натра (в первом случае) и извести (в следующих двух опытах) раствор стал зеленого цвета и образовалось значительное количество осадка бирюзово-голубого цвета. В следующих двух опытах (№ 4 и № 5) осуществлялись процессы осаждения, коагуляции и флокуляции. В качестве реагента для осаждения применялся сернистый натрий, доза которого была в интервале от 0,4 до 0,8 г/л. В результате проведенных опытов цвет раствора приобрел коричнево-желтый окрас, а осадок стал темно-коричневым. Важно отметить, что после отстаивания продолжительностью 24 ч произошло осветление раствора и уплотнение осадка. Значение рН после очистки стоков варьировалось в пределах от 10,1 до 12,4.

2. Для промывных вод с содержанием сульфата меди осуществлялось 5 вариантов очистки. Начальная концентрация металла в воде составляла 42,8 мг/л. Каждый вариант включал процесс осаждения взвешенных веществ, образование которых произошло в результате флокуляции и коагуляции. В первых двух опытах очистка осуществлялась при помощи едкого натра дозой 2,16 г/л. В результате образовались крупные хлопья и раствор приобрел синий цвет. В первом случае добавлялся флокулянт «Праестол 2530», а во втором – ВПК-402, способствующий более быстрому осуществлению процесса флокуляции и коагуляции. В опыте № 3 добавление извести привело к появлению крупных хлопьев взвешенных веществ и к изменению цвета раствора на бледно-голубой. Добавление ВПК-402 позволило увеличить количество взвесей и значительно ускорить процесс осаждения. В опытах № 4 и 5 очистка производилась при помощи сернистого натра, в результате образовались мелкие взвеси. Добавление коагулянта и флокулянта в 4-м опыте привело к укрупнению взвесей и быстрому осаждению, а в последнем опыте влияние ВПК-402 не привело к изменению процесса очистки. В результате последних проведенных опытов раствор приобрел черный цвет. Значение рН после очистки стоков варьировалось в пределах от 6,1 до 10,1.

3. Для промывных вод с содержанием никеля проведено 3 варианта очистки. Начальная концентрация металла в воде составляла 95,4 мг/л. Каждый вариант включал процесс флокуляции, а затем процесс осаждения взвешенных веществ. В качестве флокулянта использовался «Праестол 2530». В первых двух вариантах осуществлялась очистка при помощи извести, доза которой находилась в интервале от 0,6 до 0,8 г/л. В последнем опыте применялся едкий натр. Во всех вариантах произошло выпадение крупных хлопьев, образовавших осадок зеленоватого цвета. Добавление коагулянта не потребовалось. Значение рН после очистки стоков варьировалось в пределах от 11,3 до 12.

4. Для промывных вод с содержанием шестивалентного хрома рассмотрено 3 варианта очистки. Начальная концентрация металла в воде составляла 5,8 мг/л. Каждый вариант включал процесс флокуляции, а затем процесс осаждения взвешенных веществ. Для проведения очистки потребовалось корректирование рН до 2,3 при помощи серной кислоты, а также восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} пиросульфитом натрия, что согласуется с данными [13]. Во всех вариантах для очистки использовались известь, доза которой находилась в интервале от 0,7 до 1 г/л, и флокулянт «Праестол 2530». Значение рН после очистки стоков варьировалось в пределах от 11,2 до 12.

Для определения исходной и остаточной концентраций цветных металлов в воде во всех вышеперечисленных опытах использовался атомноабсорбционный метод. Суть этого способа заключается в растворении частиц металлов с помощью дитиокарбаминовой кислоты. Из полученного экстракта испаряют воду и помещают в спектрофотометр, который по цвету определяет наличие данного металла и его концентрацию [14, 15].

Графические результаты экспериментальных работ по очистке промывных вод с различным характером загрязнения представлены на рис. 1–8.

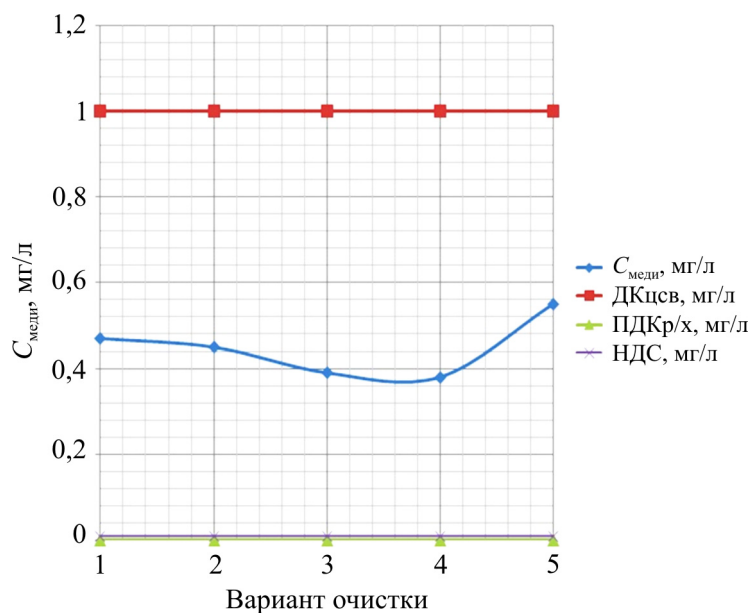


Рис. 1. Остаточная концентрация меди в зависимости от варианта очистки промывной воды с содержанием аммиаката меди
 Fig. 1. Residual concentration of copper, depending on the type of purification of wash water containing copper ammine

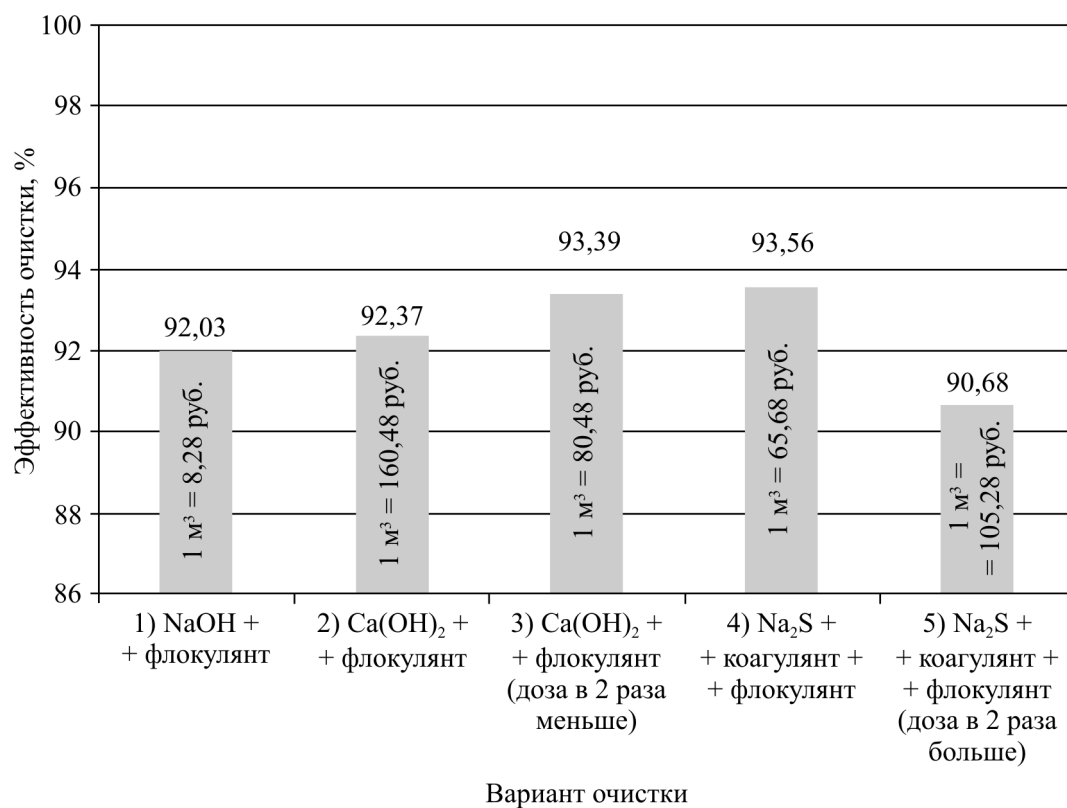


Рис. 2. Эффективность и стоимость очистки 1 м³ стока очистки промывной воды с содержанием аммиаката меди
 Fig. 2. Efficiency and cost of cleaning for 1 m³ of wastewater purification flow with the content of copper ammine

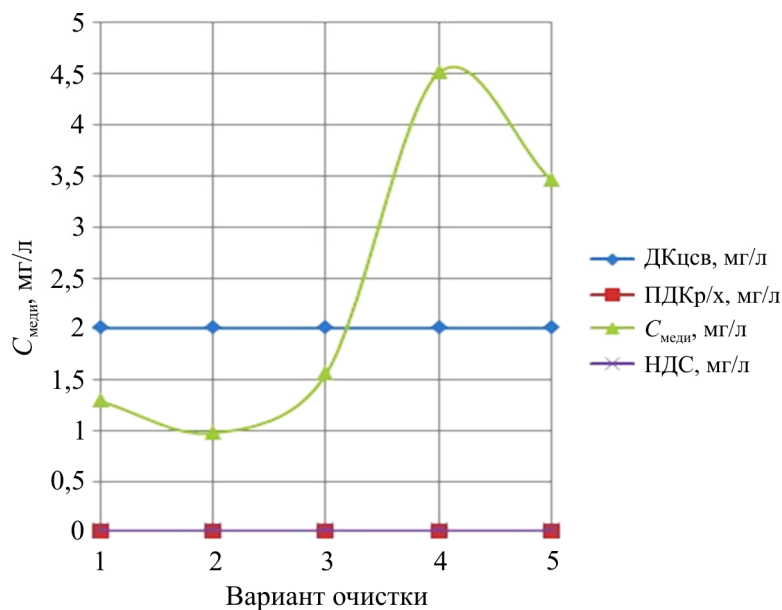


Рис. 3. Остаточная концентрация меди в зависимости от варианта очистки промывной воды с содержанием сульфата меди
Fig. 3. Residual concentration of copper depending on the type of purification of wash water containing copper sulphate

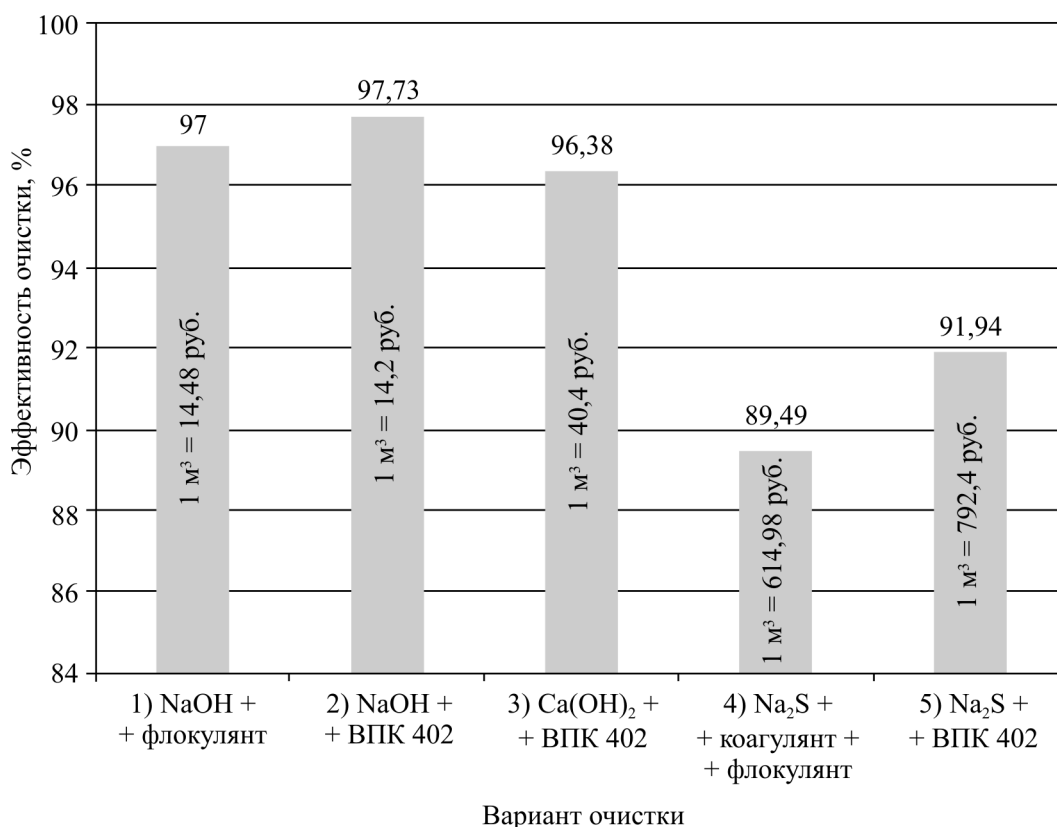


Рис. 4. Эффективность и стоимость очистки 1 м³ стока промывной воды с содержанием сульфата меди
Fig. 4. Efficiency and cost of cleaning for 1 m³ of wash water flow with copper sulphate content

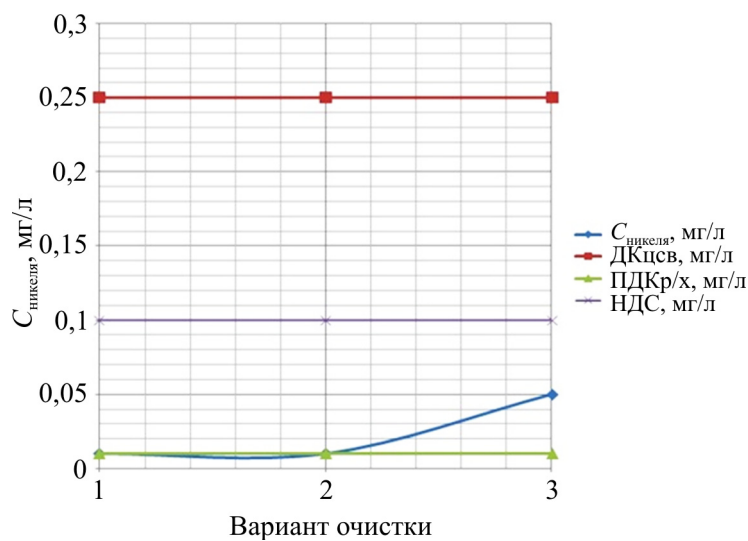


Рис. 5. Остаточная концентрация никеля в зависимости от варианта очистки
 Fig. 5. Residual nickel concentration depending on the purification option

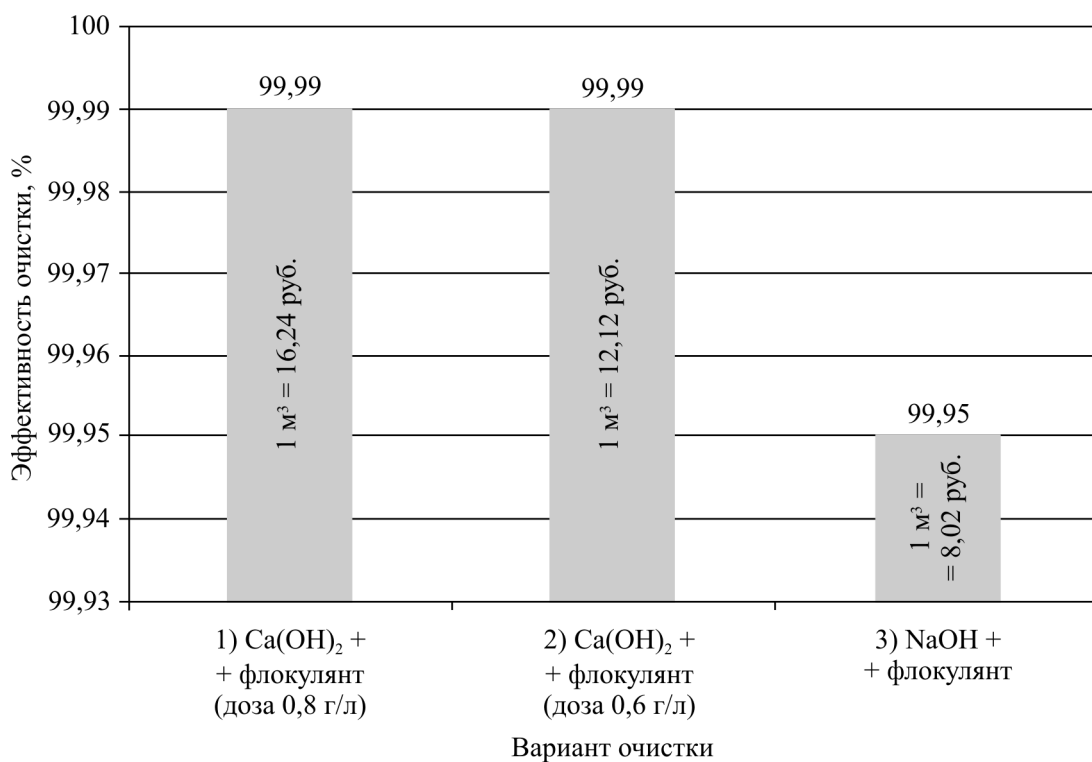


Рис. 6. Эффективность и стоимость очистки 1 м³ стока промывной воды с содержанием никеля
 Fig. 6. Efficiency and cost of cleaning for 1 m³ of wash water flow with nickel content

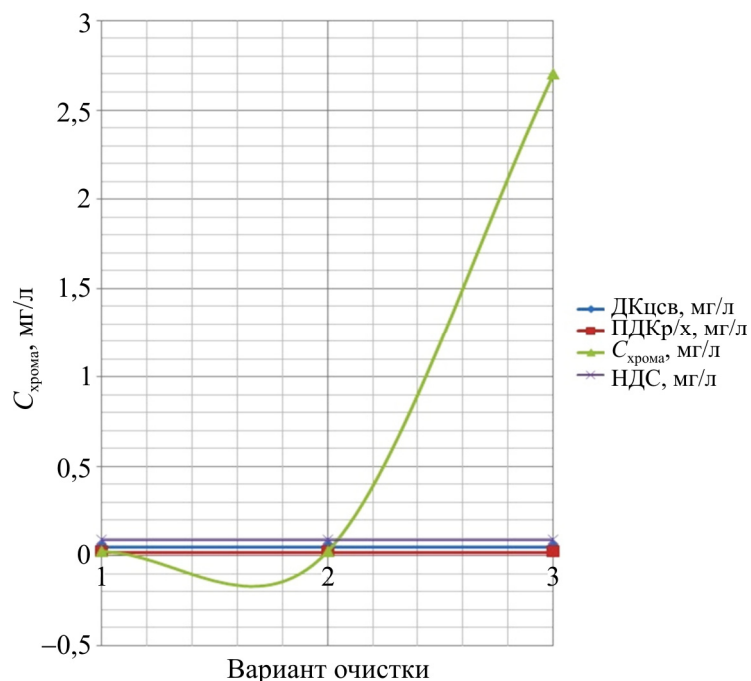


Рис. 7. Остаточная концентрация хрома в зависимости от варианта очистки
 Fig. 7. Residual concentration of chromium depending on the type of treatment

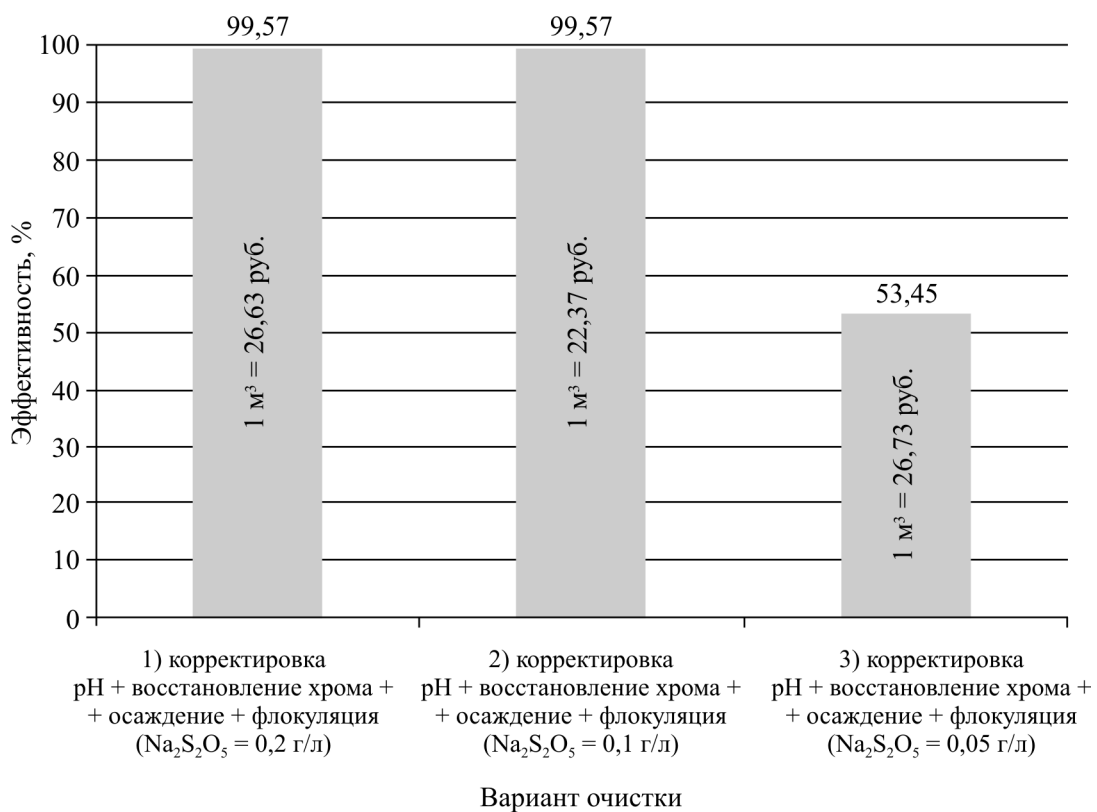


Рис. 8. Эффективность и стоимость очистки 1 м³ стока промывной воды с содержанием шестивалентного хрома
 Fig. 8. Efficiency and cost of cleaning for 1 m³ of wash water flow containing hexavalent chromium

Критерием эффективности очистки промывных вод для выбранного промышленного предприятия являлась возможность достижения:

- 1) предельно допустимой концентрации для сброса в рыбохозяйственный водоем (ПДКр/х);
- 2) допустимой концентрации для сброса в централизованную систему водоотведения города (ДКцсв);
- 3) нормативов допустимого сброса для предприятия (НДС).

Выбор оптимальных условий реагентной очистки промывных вод осуществлялся с учетом достижения одного из критериев эффективности очистки и минимальной стоимости реагентов.

Обсуждение результатов экспериментальных исследований

Сравнительный анализ реагентных методов очистки сточных от тяжелых цветных металлов показал следующее:

1. Для промывных вод, содержащих аммиакат меди:

- При очистке сточных вод, содержащих аммиакат меди, при оптимальных условиях $\text{pH} = 9 \dots 10$, наиболее эффективным реагентом оказался Na_2S (93,56 %). По стоимости среди других опробованных реагентов Na_2S оказался на втором месте по экономичности. Самым экономичным из использованных в экспериментах реагентов являлось применение NaOH с флокулянт (8,3 руб./м³), при схожей эффективности очистки (92,3 %).

- Все виды реагентов очистили стоки до допустимых концентраций сброса в централизованную систему водоотведения. Апробированные реагенты не обеспечивают достижение норматива допустимого сброса (НДС) для предприятия и ПДКр/х. Требуемое разбавление очищенного стока до НДС составляет 40 раз.

- Добавление двойной дозы реагента $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 8$ г/л и $\text{Na}_2\text{S} = 0,8$ г/л не привело к улучшению эффективности. При большей дозе реагента эффективность очистки ниже.

2. Для промывных вод, содержащих сульфат меди:

- При очистке сточных вод, содержащих сульфат меди, при оптимальных условиях $\text{pH} = 4 \dots 5$, наиболее эффективным является NaOH (97,73 %). При ВПК эффективность выше, стоимость очистки в этом случае самая минимальная (14,2 руб. за 1 м³).

- NaOH и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ позволили очистить стоки до допустимых концентраций сброса в централизованную систему водоотведения. Все реагенты не обеспечивают достижение норматива допустимого сброса (НДС) для предприятия и ПДКр/х. Требуемое разбавление очищенного стока до НДС составляет 100 раз.

- При очистке воды реагентом Na_2S показатель остаточной концентрации меди превышает норму сброса сточных вод в канализацию, поэтому эффективность реагента значительно ниже. Также этот метод очистки является самым дорогим.

3. Для промывных вод, содержащих никель:

- При очистке сточных вод, содержащих никель, при оптимальных условиях $\text{pH} = 7 \dots 8$, эффективность наиболее высока при добавлении $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (99,99 %). Применение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ обеспечивает остаточные концентрации никеля ниже всех рассмотренных критериев ДКцсв, НДС и ПДКр/х.

- При схожей эффективности применения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ стоимость очистки является определяющей.

- При добавлении NaOH эффективность составляет 99,95 %, а стоимость самая низкая (8,02 руб. за 1 м³). Данный вариант очистки обеспечивает достижение ДКцсв, НДС, но не ПДКр/х.

4. Для промывных вод, содержащих шестивалентный хром:

- Очистка сточных вод, содержащих хром, при оптимальных условиях $\text{pH} = 2 \dots 3$, наиболее эффективна в присутствии Cr^{3+} (99,57 %), что обеспечивается количественным составом реагентов в опытах № 1 и 2. Поэтому важна первоначальная реакция восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} с дальнейшей очисткой реагентом $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Количественный состав реагентов опыта № 3 не обеспечивает требуемого восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} , а эффективность очистки в опыте не превышает 53,4 %.

- При схожей эффективности опытов № 1 и 2 стоимость очистки является определяющей.

- В результате опытов № 1 и 2 остаточная концентрация хрома не превышает все рассмотренные критерии: ДКцсв, НДС и ПДКр/х. Остаточная концентрация хрома в опыте № 3 выше всех рассмотренных критериев.

В табл. 3 представлены оптимальные условия реагентной очистки промывных вод, с учетом возможности достижения каждого рассмотренного критерия эффективности очистки, при минимальной стоимости реагентов.

Таблица 3

Оптимальные условия реагентной очистки промывных вод

Table 3

Optimal conditions for reagent cleaning of wash water

Промывные воды, содержащие	Исходная концентрация, мг/л	Достижение ДКцсв			Достижение НДС			Достижение ПДКр/х		
		Номер опыта	Эффективность очистки, %	Стоимость реагентов, руб./м ³	Номер опыта	Эффективность очистки, %	Стоимость реагентов, руб./м ³	Номер опыта	Эффективность очистки, %	Стоимость реагентов, руб./м ³
Аммиакат меди	5,9	1	92,0	8,3	нет	–	–	нет	–	–
Сульфат меди	42,8	2	97,7	14,2	2	97,7	14,2	нет	–	–
Никель	95,4	2	99,9	12,1	3	99,9	8,0	2	99,9	12,1
Хром шестивалентный	5,8	2	99,6	22,4	2	99,6	22,4	2	99,6	22,4

Выводы

Экспериментально исследована эффективность реагентной очистки промывных вод, содержащих медь, никель, шестивалентный хром, с использованием различных реагентов.

Установлено, что все апробированные реагенты обеспечивают остаточные концентрации металлов после очистки до допустимых концентраций для сброса в централизованную систему водоотведения города (ДКцсв).

Определены оптимальные условия реагентной очистки промывных вод с учетом возможности достижения следующих критериев: допустимой концентрации для сброса в централизованную систему водоотведения города (ДКцсв); норматива допустимого сброса загрязняющего вещества для предприятия (НДС); предельно допустимой концентрации для сброса в рыбохозяйственный водоем (ПДКр/х) при минимальной стоимости реагентов.

Оптимальными условиями для очистки промывных вод с содержанием аммиаката меди является применение сочетания NaOH (12 %) + Праестол 2530 (опыт № 1). Метод обеспечивает достижение ДКцсв, но не позволяет достигать НДС и ПДКр/х по содержанию меди.

Оптимальными условиями для очистки промывных вод с содержанием сульфата меди является применение сочетания NaOH (12 %) + ВПК 402 (опыт № 2). Метод обеспечивает достижение ДКцсв, НДС, но не позволяет достигать ПДКр/х по содержанию меди.

Оптимальными условиями для очистки промывных вод с содержанием никеля является применение сочетания Ca(OH)₂ + Праестол 2530 (опыт № 2). Метод обеспечивает достижение ДКцсв, НДС и ПДКр/х. В случае отсутствия необходимости обеспечения очистки от никеля до ПДКр/х целесообразно использовать сочетание NaOH (12 %) + Праестол 2530, как более дешевый вариант (опыт № 3).

Оптимальными условиями для очистки промывных вод с содержанием шестивалентного хрома является применение сочетание H₂SO₄ (33 %) + Na₂S₂O₅ (10 %) + Ca(OH)₂ + Праестол 2530 с дозировкой по опыту № 2. Метод обеспечивает достижение ДКцсв, НДС и ПДКр/х по содержанию шестивалентного хрома.

Выбор технологической схемы очистки промывных вод от ионов тяжелых цветных металлов будет определяться в зависимости от необходимости достижения требуемого критерия очистки стоков. Применение реагентной очистки промывных вод требует последующей нейтрализации очищенных стоков.

Библиографический список

1. Сорбент-Инжиниринг. Очистка производственных сточных вод от ионов металлов [Электронный ресурс]: информ. ресурс. – URL: <https://sorbentvoda.ru/company/useful-info/ochistka-proizvodstvennykh-stochnykh-vod-ot-ionov-metallor/> (дата обращения: 20.11.2018).

2. Удаление тяжелых металлов из растворов методом ионной флотации / Н.Л. Медяник, Н.К. Тусупбаев, И.А. Варламова [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 18–26. DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-1-26-33

3. Badmus M.A.O., Audu T.O.K., Anyata B.U. Removal of heavy metal from industrial wastewater using hydrogen peroxide // African Journal of Biotechnology – 2007. – Vol. 6 (3). – P. 238–242.

4. Исследование процессов очистки хромсодержащих гальванических стоков комбинацией реагентного и флотационного методов / В.В. Озерьянская, И.С. Рыбалкина, Н.Л. Филипенко, В.А. Медведева // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т. 11, № 8 (59). – Вып. 2. – С. 1385–1390.

5. Global Aqua. Реагентный метод очистки сточных вод [Электронный ресурс]: информ. ресурс. – URL: <http://global-aqua.ru/ochistka-stochnykh-vod/reagentnyy-metod-ochistki-stochnykh-vod.html> (дата обращения: 13.11.2018).

6. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых цветных металлов: пат. 2191750 Рос. Федерация: МПК: 7С 02F 1/62 А, 7С 02F 1/66 В / Жижаев А.И., Брагин В.И., Михайлов А.Г.; заявитель и патентообладатель: Институт химии и химической технологии СО РАН. – № 2000100665/12.

7. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review // Journal of Environmental Management – 2011. – No. 92. – P. 407–418. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011

8. Клименко Т.В. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2013. – № 11. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/11/28484> (дата обращения: 24.11.2018).

9. Nermen N. Maximous, George F. Nakhla, Wan W.K. Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption and Membrane Processes: a Comparative Study // *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*. – 2010. – Vol. 4, no. 4. – P. 125–130.

10. Все о красках. Реагентная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов [Электронный ресурс]: информ. ресурс. – URL: <http://vseokraskah.net/ochistka/reagentnaya-ochistka-stochnyx-vod-ot-ionov-tyazhelyx-metallov.html> (дата обращения: 24.11.2018).

11. Kovacheva-Ninova V. Electrochemical treatment of mine waste waters containing heavy metal ions // *Mining and Mineral Processing, Sofia*. – 2003. – Vol. 46, part II. – P. 215–220.

12. Сорбент [Электронный ресурс]: информ. ресурс. – URL: <http://www.sorbent.su/production/coagulants/product01.php> (дата обращения: 02.11.2018).

13. Dinar D. Fazullin Sewage Treatment From Heavy Metal Ions By The Method Of Deposition, Using Sulfur-Alkaline Wastewater As A Reagent // *International Journal of Green Pharmacy*. – 2017. – Vol. 11, no. 4. – P. 831–835. – URL: <https://www.greenpharmacy.info/index.php/ijgp/article/view/1368>.

14. Ecology-of. Способы определения меди в различных веществах [Электронный ресурс]: информ. ресурс. – URL: <http://ecology-of.ru/med/opredelenie-svoystv-medi/#i-4> (дата обращения: 15.11.2018).

15. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях: информ.-техн. справ. по наилучшим доступным технологиям. – М.: Бюро НДТ, 2015.

References

1. Informatsionnyi resurs Sorbent-Inzhiniring. Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod ot ionov metallov [Sorbent-Engineering. Purification of industrial wastewater from metal ions]. available at: <https://sorbentvoda.ru/company/useful-info/ochistka-proizvodstvennykh-stochnykh-vod-ot-ionov-metallov/> (accessed 20 November 2018).

2. N.L. Medianik, N.K. Tusupbaev, I.A. Varlamova et al. Udalenie tiazhelykh metallov iz rastvorov metodom ionnoi flotatsii [Removing of heavy metals from solutions by the ion flotation method]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, 2016, Vol.1, no 1, pp. 18-26. DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-1-26-33.

3. M.A.O. Badmus, T.O.K. Audu, B.U. Anyata Removal of heavy metal from industrial wastewater using hydrogen peroxide. *African Journal of Biotechnology*, 2007, vol. 6 (3), pp. 238-242.

4. Ozerianskaia V.V., Rybalkina I.S., Filipenko N.L., Medvedeva V.A.. Issledovanie protsessov ochistki khromsoderzhashchikh gal'vanicheskikh sto-kov kombinatsiei reagentnogo i flotatsionnogo metodov [Investigation of chromiferous galvanic wastes treatment by reactant and flotation method combination]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, Vol.11, no.8 (59)- 2, pp. 1385 – 1390.

5. Global Aqua. Reagentnyi metod ochistki stochnykh vod [Reagent wastewater treatment method]. Available at: <http://global-aqua.ru/ochistka-stochnykh-vod/reagentnyy-metod-ochistki-stochnykh-vod.html> (accessed 13 November 2018).

6. Zhizhaev A.I., Bragin V.I., Mikhailov A.G. Sposob ochistki stochnykh vod ot ionov tiazhelykh tsvetnykh metallov [The method of purification of waste water from ions of heavy non-ferrous metals]: Patent Rossiiskaia Federatsiia: no. 2191750 .

7. Wang F. Fu, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 2011, no. 92, pp. 407-418. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011.

8. Klimenko T.V. Ochistka stochnykh vod ot ionov tiazhelykh metallov [Wastewater treatment for heavy metal ions], 2013, no. 11, available at: <http://web.snauka.ru/issues/2013/11/28484> (accessed 24 November 2018).

9. Nermen N. Maximous, George F. Nakhla and W. K. Wan Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption and Membrane Processes: a Comparative Study. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 2010, vol: 4, no: 4, pp. 125-130.

10. Vse o kraskakh. Reagentaia ochistka stochnykh vod ot ionov tiazhelykh metallov [All about paints. Reagent sewage treatment from heavy metal ions]. available at: <http://vseokraskah.net/ochistka/reagentnaya-ochistka-stochnyx-vod-ot-ionov-tyazhelyx-metallov.html> (accessed 24 November 2018).

11. Valeria Kovacheva-Ninova. Electrochemical treatment of mine waste waters containing heavy metal ions. *Mining and Mineral Processing*, Sofia, 2003, vol. 46, part II, pp.215-220.

12. Sorbent [Sorbent] available at: <http://www.sorbent.su/production/coagulants/product01.php> (accessed 2 November 2018).

13. Dinar D. Fazullin Sewage Treatment From Heavy Metal Ions By The Method Of Deposition, Using Sulfur-Alkaline Wastewater As A Reagent. *International Journal of Green Pharmacy*, 2017, vol. 11, no: 4, pp. 831-835. Doi: <https://www.greenpharmacy.info/index.php/ijgp/article/view/1368>.

14. Informatsionnyi resurs Ecology-of. Sposoby opredeleniia medi v razlichnykh veshchestvakh [Ecology-of. Methods for the determination of copper in various substances] available at: <http://ecology-of.ru/med/opredelenie-svoystv-medi/#i-4> (accessed 15 November 2018).

15. Informatsionno-tehnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiiam. Ochistka stochnykh vod pri proizvodstve produktsii (tovarov), vypolnenii rabot i okazanii uslug na krupnykh predpriatiiakh [Information and technical reference for best available technology. Wastewater treatment in the production of products (goods), performance of works and provision of services to large enterprises]. Moscow, Bureau best available technologies, 2015.