

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНОПРОИЗВОДСТВ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

© Т. Ю. Ялымова¹✉, Н. Д. Соловьева¹

¹ Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых, пищевых производств», *Shevchenko.tatyana@list.ru*;
Энгельсский технологический институт (филиал),
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.», Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов; способы очистки; сточные воды гальванопроизводств; флокулянт; эффективность очистки.

Аннотация: Электрохимические производства являются источником большого количества отработанных водных растворов (сточных вод), которые представляют большую угрозу окружающей среды, загрязняя поверхностные и подземные водоемы. Проведен сравнительный анализ реагентного и ионнообменного способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов на примере Cu^{2+} , Ni^{2+} . Установлено влияние добавки флокулянта марки PRAESTOL на процесс реагентной (гидрооксидной) очистки модельных растворов от ионов тяжелых металлов. Показано, что ионнообменный способ является более эффективным по сравнению с гидрооксидным.

Введение

Защита водных ресурсов от загрязнения и истощения – это одна из глобальных современных экологических проблем. Причины загрязнения связаны с большим количеством стоков, которые сбрасываются в водоемы и делают воду непригодной для использования [1 – 16]. Электрохимические производства являются источником большого количества отработанных водных растворов, сточных вод, которые представляют большую угрозу для человека и окружающей среды, загрязняя поверхностные и подземные водоемы. Ионы тяжелых металлов (ИТМ), входящие в состав гальванических сточных вод, являются не только вредными и токсичными, но и обладают канцерогенным, мутагенным и даже тератогенным действием [1 – 3].

Существующие методы очистки гальванических сточных вод (механический, реагентный, электрохимический, ионнообменный, мембранный) не позволяют очистить на 100 %. Способ очистки зависит от выбранного критерия. В связи с этим выбор способа очистки и поиск путей их совершенствования является актуальным направлением экологии [1].

В настоящее время, несмотря на разнообразие методов очистки, наиболее распространенным способом обезвреживания гальваностоков остается реагентный метод [1 – 16], заключающийся в обработке гальваностоков химическими соединениями. В результате образуются нерастворимые, малорастворимые и слабодиссоциированные соединения. Ионные реакции, протекающие при этом, прак-

тически необратимы. При выборе реагентов необходимо исходить из произведения растворимости образующихся соединений. С применением осадителей, дающих соединения с малым произведением растворимости, степень очистки воды повышается. Присутствие в воде посторонних солей обычно приводит к возрастанию растворимости образующихся осадков вследствие увеличения ионной силы раствора.

При нейтрализации избыточной кислотности величина pH сточной воды повышается, что сопровождается образованием и осаждением основных солей и гидроксидов металлов. Величина pH, соответствующая осаждению гидроксидов, индивидуальна и зависит от природы металла, концентрации его в растворе, температуры, наличия примесей и др. Наиболее оптимальные значения pH для осаждения гидроксидов металлов приведены в табл. 1.

Ионообменная очистка растворов представляет собой процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы материалов, называемых ионитами. В зависимости от знака заряда обменивающихся ионов иониты делятся на катиониты и аниониты. Катиониты задерживают катионы (проявляют кислотные свойства), аниониты задерживают анионы (проявляют основные свойства).

Мембранные методы концентрирования и очистки промышленных стоков являются перспективными [6, 7]. Авторы [8] установили, что степень извлечения ионов Cd из сульфатно-аммонийного электролита кадмирования в стационарных условиях может достигать 99 %.

Цель работы – сравнительный анализ эффективности реагентного и ионообменного способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (на примере ионов Cu^{2+} , Ni^{2+}) для исследования возможности их совершенствования.

Выбор веществ для исследования обусловлен тем, что медь и ее соединения относятся ко II и III классу опасности, никель и его соединения – к I и II. Предельно допустимые концентрации (ПДК) этих химических веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для ионов Cu^{2+}

Таблица 1

**Значения pH гидратообразования
для различных металлов [1, 2]**

Природа иона	Величина pH
Al^{3+}	4,0...5,5
Fe^{3+}	1,7...4,3
Fe^{2+}	5,0...7,2
Cr^{3+}	4,5...7,5
Cu^{2+}	5,5...8,0
Ni^{2+}	6,5...9,4
Zn^{2+}	6,5...10,0
Cd^{2+}	8,0...10,0
Pb^{2+}	7,0...9,0
Sn^{2+}	4,0...4,5

составляет 1 мг/л, для ионов Ni^{2+} – 0,1 мг/л. Указанные тяжелые металлы обладают кумулятивным действием, способны вызывать аллергические реакции, оказывать токсическое действие и обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, поэтому очистка растворов от этих ионов является весьма актуальной и важной проблемой экологии. Кроме того, выделение и концентрирование ионов Cu^{2+} , Ni^{2+} из сточных вод является экономически выгодным и возможно их повторное использование в различных отраслях промышленности [15].

Экспериментальная часть

Объекты исследования – однокомпонентные растворы сернокислой меди и никеля, концентрацией, г/л: 0,5; 1; 2; 3; 5. Оптическая плотность раствора измерялась на фотоэлектроколориметре КФК-3-01 при длинах волн $\lambda = 815,5$ и $950,6$ нм. Для сравнения степени очистки реагентного метода (гидрооксидного) в растворы сернокислой меди, сернокислого никеля добавляли гидроксид натрия (NaOH). Кроме того, исследовалось влияние флокулянта марки PRAESTOL 853 BC (партия 1/1601/20) на процесс очистки гидрооксидным методом. Ионообменную очистку растворов проводили пропусканием через слой катионита КУ-2-8. Для анализа отбирали 10 мл пробы очищаемого раствора (фильтрата). Снова пропускали фильтрат через слой того же катионита. Отбирали пробу 10 мл на анализ. Эксперимент проводили до полного насыщения катионита (3 раза). Фильтрация растворов осуществлялась с помощью обессоленных фильтров «Синяя лента» (ТУ 2642-001-13927158-2003) [12].

Степень очистки α определялась по формуле

$$\alpha = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{нач}}} 100\%, \quad (1)$$

где $C_{\text{нач}}$, $C_{\text{кон}}$ – концентрации очищаемого раствора соответственно начальная и после очистки.

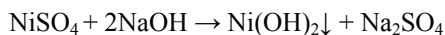
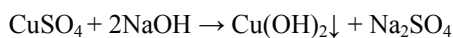
Обсуждение результатов

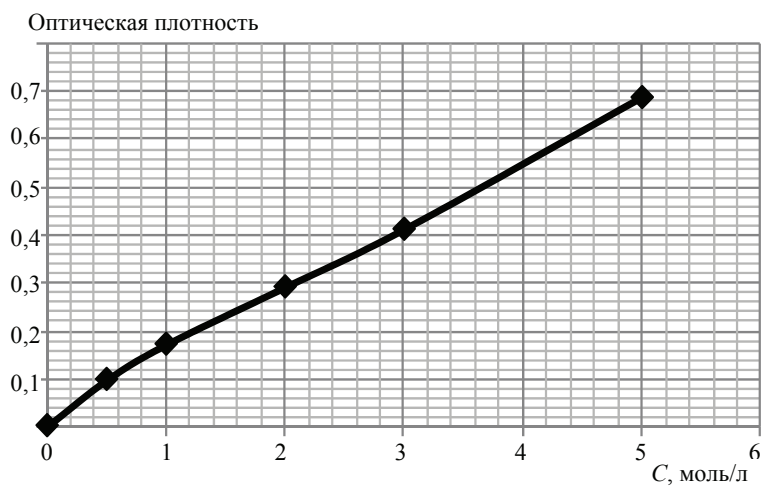
По результатам измерения оптической плотности растворов построены калибровочные кривые (рис. 1). Для исследований процесса очистки выбраны растворы сернокислого никеля и сернокислой меди концентраций 5 г/л. Результаты эксперимента по очистке растворов ионообменным способом после фильтрации представлены в табл. 2. Концентрация растворов после очистки определялась по калибровочным графикам (см. рис. 1).

В результате проведенного эксперимента установлено, что после третьего пропускания раствора через слой катионита степень очистки для ионов меди составляет порядка 84 %, а никеля до 92 %.

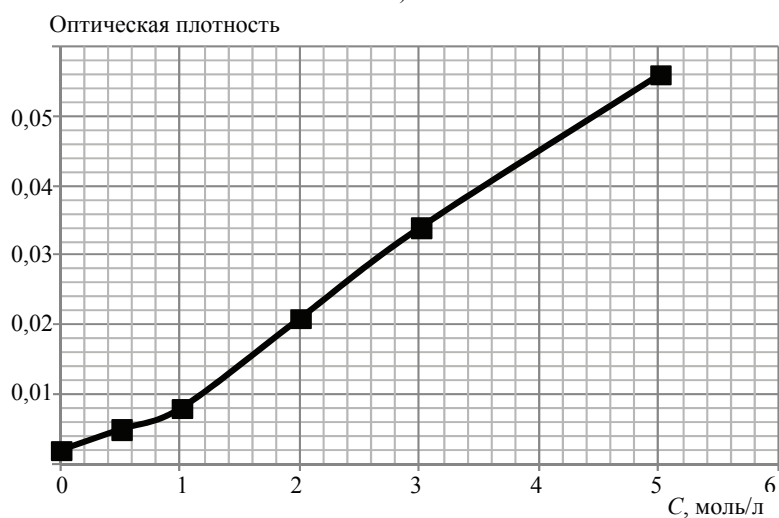
В исследуемые модельные растворы CuSO_4 и NiSO_4 добавляли гидроксид натрия (NaOH), при этом проводилось дозирование щелочи до pH гидратообразования, представленного в табл. 1 [1]. Величина pH раствора определялась при помощи универсальной индикаторной бумаги (ПНД 50-975-84).

Уравнения реакций, протекающих в исследуемых растворах CuSO_4 и NiSO_4 при добавлении щелочи соответственно:





а)



б)

Рис. 1. Калибровочные кривые «оптическая плотность – концентрация» растворов CuSO₄ (а) и NiSO₄ (б)

Таблица 2

**Результаты химического анализа растворов
после очистки ионно-обменным способом**

Проба раствора	Степень очистки α , %, растворов	
	CuSO ₄	NiSO ₄
1	28,9	36,3
2	68,1	80,1
3	84,2	92,0

Таблица 3

**Результаты химического анализа растворов
после очистки реагентным способом**

Раствор	Степень очистки α , %	
	Реагентный способ (NaOH)	Реагентный способ + флокулянт (NaOH + флокулянт)
5 г/л CuSO_4	63,1	78,2
5 г/л NiSO_4	63,5	87,0

После отстаивания растворов и выпадения в осадок гидрооксидов $\text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow$ и $\text{Ni}(\text{OH})_2\downarrow$ соответственно проводилось фильтрование растворов с помощью обессоленных фильтров «Синяя лента» (ТУ 2642-001-13927158-2003) и отбор на анализ пробы фильтрата (10 мл).

Одним из способов увеличения эффективности очистки является применение флокулянтов. Как известно [16], флокулянты – это химические реагенты, которые ускоряют отделение примеси от воды склеиванием примесей в хлопьеобразные плотные и крупные флокулы. В результате в очищаемом растворе не остается взвешенных частиц, а осадок легко отделить фильтрацией, осветлением, отстаиванием и др. Ранее для очистки промывных и сточных вод применялись в основном неорганические коагулянты, такие как сульфат алюминия, хлорид железа, в связи с их низкой ценой и широкой доступностью на рынке [16]. В настоящее время полимерные флокулянты (как синтетические, так и природные) приобретают все большую популярность.

Проведено исследование влияния флокулянта серии PRAESTOL на гидрооксидный метод очистки. Катионный флокулянт марки PRAESTOL 853 BC вводился в растворы совместно с реагентом NaOH в концентрации 0,003 %. Следует отметить, что при применении данного химиката (в качестве ускорителя процесса осаждения, флотации и пр.) достаточно всего лишь несколько грамм полимера на 1 м³ очищаемой взвеси. В процессе эксперимента наблюдалось интенсивное образование вязких хлопьеобразных структур, которые сложно поддавались фильтрации.

Результаты эксперимента по очистке изучаемых модельных растворов реагентным способом представлены в табл. 3. Так как в растворах после фильтрации наблюдалось помутнение в виде осадка, проводилось повторное фильтрование, после которого растворы визуально казались прозрачными. Согласно полученным данным, степень очистки гидрооксидным способом в присутствии флокулянта увеличилась для раствора CuSO_4 до 78,2 %, NiSO_4 – до 87 % (см. табл. 3).

Заключение

1. Проведено экспериментальное исследование (сравнительный анализ) эффективности химического (реагентного) и ионообменного способов очистки модельных растворов CuSO_4 и NiSO_4 .
2. Экспериментально установлено, что ионообменный способ оказался наиболее эффективен по сравнению с реагентным (степень очистки составила 84 % для растворов CuSO_4 , 92 % – для NiSO_4).
3. В процессе экспериментального исследования по очистке реагентным способом с добавлением флокулянта марки «PRAESTOL» наблюдалось интен-

сивное образование вязких хлопьеобразных флокул, что свидетельствует об ускорении процесса очистки, однако при этом растворы сложно поддаются фильтрации.

Проведенные эксперименты показывают, что следует продолжить исследования в данном направлении для установления оптимальных параметров процесса очистки. Полученные данные экспериментальных исследований могут быть использованы для усовершенствования технологии очистки.

Список литературы

1. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство : Прил. к журн. «Гальванотехника и обработка поверхности» / С. С. Виноградов ; под. ред. В. Н. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Глобус, 2002. – 352 с.
2. Гальванотехника : справочник / Ф. Ф. Ажогин [и др.] ; под ред. А. М. Гинберга. – Москва : Металлургия, 1987. – 735 с.
3. Resource Utilization of Electroplating Wastewater: Obstacles and Solutions / S. Li, M. Dai, Y. Wu, [et al.] // Environmental Science: Water Research & Technology. – 2022. – Vol. 8, No. 3. – P. 484–509. doi: 10.1039/D1EW00712B
4. Перельгин, Ю. П. Некоторые вопросы экологии гальванического производства / Ю. П. Перельгин // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2018. – Т. 26, № 2. – С. 57–61. doi: 10.47188/0869-5326_2018_26_2_57
5. Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств : учеб. пособие / Ю. П. Перельгин, О. В. Зорькина, И. В. Рашевская [и др.]. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 80 с.
6. Электрокинетические характеристики электродеионизационной очистки и концентрирования технологических растворов гальванических производств, содержащих ионы кобальта, меди и кадмия / С. И. Лазарев, И. В. Хорохорина, М. И. Михайлин, О. С. Филимонова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2025. – Т. 15, № 2(53). – С. 269–278. doi: 10.21285/achb.972
7. Лазарев, Д. С. Кинетические характеристики электронанофильтрационной очистки технологических растворов гальванических производств от ионов Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} / Д. С. Лазарев, И. В. Хорохорина // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2025. – Т. 31, № 1. – С. 118–128. doi: 10.17277/vestnik.2025.01.pp.118-128
8. Повышение эффективности электромембранных процессов на участке электрохимического кадмирования / С. С. Кругликов, Е. А. Архипов, Д. А. Жирухин [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2021. – Т. 55, № 3. – С. 286–290. doi: 10.31857/S0040357121030106
9. Влияние режима импульсного электролиза на эффективность очистки растворов от катионов меди / Е. А. Савельева, М. П. Дикун, Н. С. Распопова, Н. Д. Соловьева // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 13. – С. 91–93.
10. Комбинированный способ извлечения меди из отработанного нитратного раствора травления с применением импульсного электролиза / М. П. Ларионова, Н. Д. Соловьева, Е. А. Савельева, Л. Н. Олышанская // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27, № 4. – С. 50–56. doi: 10.47188/0869-5326_2019_27_4_50
11. Разработка методов очистки сточных вод машиностроительных и химических производств / С. Л. Фукс, С. В. Хитрин, А. Д. Василевич [и др.] // Advanced Science. – 2017. – № 2(6). – С. 11. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_30146070_67642190.pdf (дата обращения: 21.05.2026).
12. Горбань, Я. Ю. Способы очистки гальванических сточных вод от ионов тяжелых металлов / Я. Ю. Горбань // Аспирант. – 2015. – № 5-1(10). – С. 34–36.

13. Гончаренко, Т. П. Утилизация медьсодержащих растворов методом цементации / Т. П. Гончаренко, Л. И. Жицкая // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 12-5(21). – С. 46–48.

14. Сравнение способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Е. Р. Мурыгина, С. А. Васильева, Т. Ю. Ялымова, Н. Д. Соловьева // Теоретические и прикладные аспекты электрохимических процессов и защита от коррозии : материалы I Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 20–23 ноября 2023 г. – Казань, 2024. – С. 58–59.

15. Соколов, Э. М. Антропогенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами / Э. М. Соколов, В. М. Панарин, Е. М. Рылеева // Экология и промышленность России. – 2008. – № 11. – С. 4–6.

16. Ульрих, Е. В. Использование флокулянтов для очистки сточных вод / Е. В. Ульрих, А. С. Баркова // Трансформация экосистем. – 2023. – Т. 6, № 1(19). – С. 168–187.

Experimental Study of the Efficiency of Methods for Electroplastic Wastewater Treatment from Heavy Metal Ions

© T. Yu. Yalymova¹✉, N. D. Solovieva¹

¹ *Department of Technology and Equipment for Chemical, Oil and Gas, and Food Production, Shevchenko.tatyana@list.ru; Engels Technological Institute (branch), Yu. A. Gagarin Saratov State Technical University, Engels, Saratov Region, Russian Federation*

Keywords: heavy metal ions; treatment methods; electroplating wastewater; flocculant; treatment efficiency.

Abstract: Electrochemical production processes generate large quantities of wastewater, which pose a significant environmental threat by polluting surface and groundwater bodies. A comparative analysis of reagent and ion-exchange methods for removing heavy metal ions from wastewater is conducted using Cu^{2+} and Ni^{2+} as examples. The effect of adding PRAESTOL flocculant on the reagent (hydroxide) purification of model solutions from heavy metal ions is determined. The ion-exchange method is shown to be more effective than the hydroxide method.

References

1. Vinogradov S.S.; Kudryavtsev V.N. (Ed.) *Ekologicheski bezopasnoye gal'vanicheskoye proizvodstvo* [Environmentally Safe Galvanic Production], Moscow: Globus, 2002, 352 p. (In Russ.)

2. Azhogin F.F. [et al.]; Ginberg A.M. (Ed.). *Gal'vanotekhnika: spravochnik* [Galvanoplasting: Handbook], Moscow: Metallurgiya, 1987, 735 p. (In Russ.)

3. Li S., Dai M., Wu Y., [et al.] Resource Utilization of Electroplating Wastewater: Obstacles and Solutions, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 484-509. doi: 10.1039/D1EW00712B

4. Perelygin Yu.P. [Some Issues of the Ecology of Galvanic Production], *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti* [Galvanotechnics and Surface Treatment], 2018, vol. 26, no. 2, pp. 57-61. doi: 10.47188/0869-5326_2018_26_2_57 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Pereygin Yu.P., Zor'kina O.V., Rashevskaya I.V. [et al.]. *Reagentnaya ochistka stochnykh vod i utilizatsiya otrabotannykh rastvorov i osadkov gal'vanicheskikh proizvodstv: ucheb. posobiye* [Reagent Wastewater Treatment and Disposal of Spent Solutions and Sludge from Galvanic Production: A Textbook], Penza: Izdatel'stvo PGU, 2013, 80 p. (In Russ.)
6. Lazarev S.I., Khorokhorina I.V., Mikhaylin M.I., Filimonova O.S. [Electrokinetic characteristics of electrodeionization purification and concentration of process solutions of galvanic production containing ions of cobalt, copper and cadmium], *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied chemistry and biotechnology], 2025, vol. 15, no. 2(53), pp. 269-278. doi: 10.21285/achb.972 (In Russ., abstract in Eng.)
7. Lazarev D.S., Khorokhorina I.V. [Kinetic characteristics of electron-nanofiltration purification of process solutions of galvanic production from ions of Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+}], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2025, vol. 31, no. 1, pp. 118-128. doi: 10.17277/vestnik.2025.01.pp.118-128 (In Russ., abstract in Eng.)
8. Kruglikov S.S., Arkhipov Ye.A., Zhirukhin D.A. [et al.], [Improving the efficiency of electromembrane processes in the electrochemical cadmium plating section], *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Technology], 2021, vol. 55, no. 3, pp. 286-290. doi: 10.31857/S0040357121030106 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Savel'yeva Ye.A., Dikun M.P., Raspopova N.S., Solov'yeva N.D. [Effect of Pulse Electrolysis Mode on the Efficiency of Solution Purification from Copper Cations], *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2016, vol. 19, no. 13, pp. 91-93. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Larionova M.P., Solov'yeva N.D., Savel'yeva Ye.A., Ol'shanskaya L.N. [Combined Method for Copper Extraction from Spent Nitrate Etching Solution Using Pulse Electrolysis], *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti* [Galvanotechnics and Surface Treatment], 2019, vol. 27, no. 4, pp. 50-56. doi: 10.47188/0869-5326_2019_27_4_50 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Fuks S.L., Khitrin S.V., Vasilevich A.D. [et al.], [Development of methods for treating wastewater from mechanical engineering and chemical industries], *Advanced Science*, 2017, no. 2(6), pp. 11. available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_30146070_67642190.pdf (accessed 21 May 2026). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Gorban' Ya.Yu. [Methods for purifying galvanic wastewater from heavy metal ions], *Aspirant* [Postgraduate student], 2015, no. 5-1(10), pp. 34-36. (In Russ., abstract in Eng.)
13. Goncharenko, T.P., Zhitskaya L.I. [Utilization of copper-containing solutions by the cementation method], *Yevraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2015, no. 12-5(21), pp. 46-48. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Murygina Ye.R., Vasil'yeva S.A., Yalymova T.Yu., Solov'yeva N.D. *Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty elektrokhimicheskikh protsessov i zashchita ot korrozii: materialy I Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Theoretical and applied aspects of electrochemical processes and corrosion protection: Proceedings of the I All-Russian scientific conference with international participation], Kazan, November 20-23, 2023, Kazan, 2024, pp. 58-59. (In Russ., abstract in Eng.)
15. Sokolov E.M., Panarin V.M., Ryleyeva Ye.M. [Anthropogenic Pollution of the Environment with Heavy Metals], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2008, no. 11, pp. 4-6. (In Russ., abstract in Eng.)
16. Ul'rikh Ye.V., Barkova A.S. [Use of Flocculants for Wastewater Treatment], *Transformatsiya ekosistem* [Transformation of Ecosystems], 2023, vol. 6, no. 1(19), pp. 168-187. (In Russ., abstract in Eng.)

Experimentelle Untersuchung der Effizienz der Verfahren der Reinigung der Abwässer von Schwermetallionen

Zusammenfassung: Elektrochemische Produktionsprozesse erzeugen große Mengen an Abwasser, das durch die Verschmutzung von Oberflächen- und Grundwasser eine erhebliche Umweltgefahr darstellt. Anhand von Cu^{2+} und Ni^{2+} als Beispielen ist eine vergleichende Analyse von Reagenz- und Ionenaustauschverfahren zur Entfernung der Schwermetallionen aus Abwasser durchgeführt. Es ist der Einfluss der Zugabe des Flockungsmittels PRAESTOL auf die Reagenz- (Hydroxid-) Reinigung von Modelllösungen von Schwermetallionen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass das Ionenaustauschverfahren im Vergleich zum Hydroxidverfahren effektiver ist.

Recherche expérimentale de l'efficacité des procédés du traitement des eaux usées de métaux lourds à partir d'ions

Résumé: La production électrochimique est à l'origine d'un grand nombre de solutions aqueuses usées (eaux usées) qui constituent une grande menace pour l'environnement en polluant les eaux de surface et des réservoirs souterrains. Est réalisée une analyse comparative du réactif et des méthodes d'échange d'ions pour traiter les eaux usées à partir d'ions de métaux lourds à l'exemple de Cu^{2+} , Ni^{2+} . Est établi l'effet de l'additif flocculant praestol sur le processus de purification réactif (hydrooxyde) des races modèles à partir d'ions de métaux lourds. Est démontré que la méthode d'échange d'ions est plus efficace par rapport à l'hydrooxyde.

Авторы: *Ялымова Татьяна Юрьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование химических, нефтегазовых, пищевых производств»; *Соловьева Нина Дмитриевна* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование химических, нефтегазовых, пищевых производств», Энгельсский технологический институт (филиал), ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация.