

УДК 502.173/174:621.357(043.3)

ПОЛУЧЕНИЕ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. С. ЗАЛЫГИНА¹⁾, В. И. ЧЕПРАСОВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный технологический университет,
ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

Отработанные электролиты гальванического производства характеризуются высоким содержанием ионов тяжелых металлов, которое значительно превышает их количество в природных рудах. Показана возможность переработки отработанных сульфатных электролитов никелирования гальванического производства с получением пигментов, что позволит стабилизировать работу очистных сооружений, предотвратить попадание в окружающую среду ионов тяжелых металлов, которые обладают токсичным, мутагенным и канцерогенным действиями, снизить объемы образующихся осадков сточных вод, а также получить ценный товарный продукт, который в настоящее время пользуется спросом за рубежом. Представлены результаты исследований колористических характеристик полученных образцов пигментов, исследовано влияние ионов Fe (III), присутствующих в отработанных электролитах никелирования в качестве загрязняющей примеси, на колористические характеристики и чистоту цвета полученных образцов. Установлена зависимость цветности полученных образцов от содержания ионов Fe (III) в отработанных электролитах, позволяющая установить диапазон колористических характеристик пигментов, получаемых из отработанных сульфатных электролитов никелирования (зеленой, желтой, коричневой и черной цветовой гаммы). Результаты проведенных исследований предоставят возможность снизить воздействие гальванического производства на окружающую среду.

Ключевые слова: отход; отработанный электролит; никелирование; пигмент; цвет; яркость; чистота цвета; примеси.

OBTAINING NICKEL-CONTAINING PIGMENTS FROM LIQUID WASTE GALVANIC PRODUCTION

V. S. ZALYHINA^a, V. I. CHEPRASOVA^a

^aBelarusian State Technological University,
13a Sviardlova Street, Minsk 220006, Belarus
Corresponding author: V. Zalyhina (zolha@tut.by)

Spent electrolytes from galvanic production are characterized by a high content of heavy metal ions, which significantly exceeds their content in natural ores. The paper shows the possibility of processing spent sulfate electrolytes from nickel plating of galvanic production to obtain pigments, which will stabilize the operation of treatment facilities, prevent the ingress of heavy metal ions into the environment, which have toxic, mutagenic and carcinogenic effects, reduce the volume of wastewater sludge formed, and also obtain a valuable commodity product that is currently being purchased abroad.

Образец цитирования:

Залыгина ОС, Чепрасова ВИ. Получение никельсодержащих пигментов из жидких отходов гальванического производства. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021;2:84–92.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-2-84-92>

For citation:

Zalyhina VS, Cheprasova VI. Obtaining nickel-containing pigments from liquid waste galvanic production. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2021;2:84–92. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-2-84-92>

Авторы:

Ольга Сергеевна Залыгина – кандидат технических наук; доцент кафедры промышленной экологии.
Виктория Игоревна Чепрасова – кандидат технических наук; младший научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования.

Authors:

Volha S. Zalyhina, PhD (engineering); associate professor at the department of industrial ecology.
zohha@tut.by
Victoria I. Cheprasova, PhD (engineering); junior researcher at the Center for physical and chemical research methods.
vicacheprasova@gmail.com

The results of investigations of the coloristic characteristics of the obtained samples of pigments are presented, the effect of Fe (III) ions present in the spent electrolytes of nickel plating as a contaminant on the color characteristics and purity of the color of the obtained samples is investigated. The dependence of the color of the obtained samples on the content of Fe (III) ions in the spent electrolytes was established, which made it possible to establish the range of coloristic characteristics of pigments obtained from spent sulfate nickel-plating electrolytes (green, yellow, brown and black colors). The results of the research carried out will reduce the impact of galvanic production on the environment.

Keywords: waste; waste electrolyte; nickel plating; pigment; color; brightness; color purity; impurities.

Введение

Переработка отходов производства является одной из важнейших задач, так как ее решение позволит снизить негативное воздействие на окружающую природную среду и обеспечить более эффективное использование природных ресурсов. Перспективным вторичным материальным ресурсом являются отработанные электролиты гальванического производства, которые характеризуются высокой концентрацией ионов тяжелых металлов.

В настоящее время в большинстве случаев проводят регенерацию отработанных электролитов [1]. Число циклов регенерации велико, однако ограничено вследствие накопления примесей, удаление которых не представляется возможным. Поэтому возникает необходимость замены электролитов, которая также может осуществляться в случае изменения их состава или номенклатуры выпускаемых изделий. Отработанные электролиты образуются также в ваннах улавливания, которые используются для снижения выноса компонентов электролита в промывные воды, а также при проведении ремонта оборудования, например, при сливе кубового остатка кассетных фильтров, используемых в системе регенерации электролитов. Проблема образования отработанных электролитов особенно актуальна для крупных предприятий, поскольку при больших объемах производства их количество возрастает вследствие увеличения скорости их загрязнения.

В действующем законодательстве отсутствует четкое разграничение между понятиями «концентрированные сточные воды» и «жидкие отходы», поэтому на многих предприятиях отработанные электролиты рассматриваются как сточные воды и сбрасываются на очистные сооружения совместно с промывными сточными водами, в которых концентрация ионов тяжелых металлов в сотни раз ниже [2]. Это затрудняет работу очистных сооружений вследствие периодического повышения концентрации загрязняющих веществ в сточной воде либо требует значительного количества чистой воды для предварительного разбавления концентрированных отработанных электролитов.

В соответствии с Классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь, отработанные электролиты являются отходами производства, вследствие чего встает вопрос правомерности их сброса на очистные сооружения.

Сброс отработанных электролитов на очистные сооружения совместно с промывными сточными водами приводит к безвозвратной потере ценных компонентов, а также к риску попадания в окружающую среду ионов тяжелых металлов, которые обладают токсичным, мутагенным и канцерогенным действиями. Высокая концентрация в отработанных электролитах гальванического производства ионов тяжелых металлов, соединения которых обладают хромофорными свойствами, позволяет предположить перспективность их использования для получения пигментов.

Учитывая, что в Республике Беларусь отсутствует производство пигментов и промышленность страны полностью работает на привозном сырье, то для уменьшения объема его импорта, а также для снижения воздействия гальванического производства на окружающую среду актуальным становится получение пигментов на основе отходов производства, в частности, из отработанных электролитов гальванического производства.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись отработанные сульфатные электролиты никелирования (ОЭН), модельные отработанные электролиты никелирования (МОЭН), а также образцы пигментов, которые были получены из отработанных электролитов и модельных растворов путем осаждения ионов никеля гидроксидом или фосфатом натрия с последующей отмывкой от водорастворимых солей, обезвоживанием и термообработкой [3; 4].

Отбор проб ОЭН проводился с 2014 по 2017 г. на различных белорусских предприятиях. Основными компонентами исследуемых ОЭН являются сульфат никеля NiSO_4 (130–250 г/дм³), борная кислота H_3BO_3 (30–40 г/дм³), хлорид натрия NaCl (10–15 г/дм³). Концентрацию ионов Ni (II) в ОЭН определяли титриметрическим методом с мурексидом [5]. Результаты представлены в табл. 1.

Состав модельных растворов был выбран на основании составов ОЭН: NiSO_4 75 г/дм³, H_3BO_3 30 г/дм³, NaCl 10 г/дм³. Для их приготовления использовали следующие реактивы марок «хч» и «чда»: сульфат

никеля $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ по ГОСТ 4465–74, борную кислоту H_3BO_3 по ГОСТ 9656–75, хлорид натрия NaCl по ГОСТ 4233–77, а также дистиллированную воду по ГОСТ 6709–72. МОЭН готовили с различным содержанием ионов Fe (III) от 0 до 2 г/дм³ (табл. 2). Концентрацию ионов Fe (III) в фильтрах, полученных после осаждения ионов Ni (II), определяли фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой¹.

Таблица 1

Составы отработанных электролитов никелирования

Table 1

Compositions of spent electrolytes nickel plating

Номер пробы	Дата отбора пробы	Концентрация Ni (II), г/дм ³	pH
Предприятие № 1			
1–1	08.12.2014	51,42	3,2
1–2	06.07.2015	49,54	3,3
1–3	14.12.2015	52,61	3,3
1–4	18.07.2016	51,78	3,2
1–5	05.12.2016	54,17	3,4
1–6	10.07.2017	52,92	3,2
Предприятие № 2			
2–1	24.11.2014	76,15	4,7
2–2	10.07.2015	77,91	4,7
2–3	19.10.2015	73,84	4,7
2–4	11.07.2016	77,34	4,5
2–5	26.11.2016	75,72	4,9
2–6	15.05.2017	76,51	4,7
Предприятие № 3			
3–1	21.04.2014	95,45	5,2
3–2	27.05.2016	91,17	5,2
3–3	15.09.2016	89,70	5,3
3–4	12.12.2016	89,58	5,2
3–5	24.04.2017	91,76	5,2
3–6	09.10.2017	94,15	5,2

Определение расхода осадителя для осаждения ионов Ni (II) из ОЭН проводили с использованием метода прямого потенциометрического титрования [6]. Измерение pH осуществляли с помощью pH-метра И-160М, оснащенного комбинированным стеклянным электродом марки ЭСКЛ-08.М1, диапазон измерений 0–12, точность измерения $\pm 0,2$ единицы pH.

Рентгенофазовый анализ полученных образцов проводили на рентгеновском дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия), детектор – сцинтилляционный счетчик. Запись осуществлялась в диапазоне углов 2θ , 10–80° с шагом 0,1–0,2° 33 и накоплением импульсов в течение 2 с. Идентификация полученных рентгенограмм проводилась с применением специализированного программного обеспечения Match 1.10.1.446 и базы данных ICDD PDF-2.

Термогравиметрический анализ осуществляли с помощью термоаналитической системы TGA/DSC–1/1600 HF (METTLER TOLEDO Instruments, Швейцария) с использованием в качестве эталона Al_2O_3 (платиновые тигли, скорость нагревания 10 °С/мин, масса навески образцов 30,1–30,2 мг). Относительная погрешность определения массы $\pm 0,1$ мг, относительная погрешность измерения температуры 0,15 %. Определение дисперсности полученных образцов проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Analizette 22 Micro Tec (Fritsch GmbH, Германия). Диапазон измерений 0,1–600 мкм.

¹СТБ 17.13.05–45–2016. Охрана окружающей среды. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды. Определение концентрации железа общего фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Утвержден постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 23 мая 2016 г. № 37.

Составы модельных отработанных электролитов никелирования

Table 2

Compositions of model spent electrolytes nickel plating

Концентрация, г/дм ³			
NiSO ₄	H ₃ BO ₃	NaCl	Fe ³⁺
75	30	10	0
			0,1
			0,2
			0,5
			1,0
			1,5
			2,0

Определение остатка на сите после мокрого просеивания осуществляли по ГОСТ 21119.4–75 «Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Методы определения остатка на сите»; pH водной суспензии проводили по ГОСТ 21119.4–75 «Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение pH водной суспензии», а маслосоемкости – по ГОСТ 21119.8–75 «Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение маслосоемкости».

Для характеристики цвета полученных образцов использовали трехмерную модель CIE 1976 L*a*b*. В этой модели цвет определялся яркостью L* и двумя хроматическими компонентами a* и b*, которые соответствуют изменению цвета от зеленого к красному и от синего к желтому соответственно. Яркость L* находится в диапазоне от 0 до 100 (от самого темного до самого светлого).

Цветовые характеристики полученных образцов определяли с помощью автономного универсального спектрофотометра Color Eye XTH (Gretag Macbeth). На основании хроматических компонентов a* и b* для каждого образца была рассчитана чистота цвета C:

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования, проведенные нами ранее, дали возможность получить из отработанных сульфатных электролитов никелирования пигменты различной цветовой гаммы. Исходя из состава существующих пигментов и необходимости наиболее полного извлечения ионов никеля из отработанных электролитов никелирования, в качестве осадителей использовались гидроксид или фосфат натрия. На основании потенциометрического титрования были установлены условия наиболее полного извлечения ионов никеля из отработанных электролитов никелирования, которые являются многокомпонентными системами сложного состава. Так, при использовании в качестве осадителя гидроксида натрия наиболее полное осаждение ионов никеля наблюдается при pH > 13 и соотношении осадителя к осаждаемому катиону 1,35. При осаждении фосфатом натрия осаждение рекомендуется проводить при pH = 10 и соотношении осадителя и осаждаемого катиона 0,9. При этом степень извлечения ионов Ni (II) составляет более 99 %. После осаждения осуществляли отмывку от водорастворимых солей, сушку при температуре 80 °C и термообработку. Режим термообработки выбирали на основании данных термогравиметрического анализа. Термообработку образцов, полученных при осаждении ионов никеля гидроксидом натрия, осуществляли при температуре 230 °C, фосфатом натрия – 880 °C с выдержкой при максимальной температуре в течение часа. Определены технические характеристики полученных материалов (содержание основного компонента в пересчете на NiO, содержание водорастворимых солей, дисперсность, маслосоемкость, pH водной суспензии), которые свидетельствуют о возможности их использования в качестве пигментов. Однако основным свойством для любого пигмента являются его колористические характеристики – цвет, яркость и чистота. Цвет пигментов, полученных осаждением ионов никеля из отработанных сульфатных электролитов никелирования, зависит прежде всего от вида осадителя и условий термообработки. На основании данных рентгенофазового анализа был определен состав образующихся продуктов. При осаждении ионов никеля гидроксидом натрия после отмывки от водорастворимых солей и сушки был получен пигмент зеленого цвета, содержащий смесь 3Ni(OH)₂·2H₂O; Ni_{1,945}O₃H_{0,815} и Ni₂O₂(OH)₄; после его термообработки

при температуре 230 °С – NiO черного цвета. При использовании в качестве осадителя фосфата натрия образуется зеленый пигмент, представляющий собой $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, который после термообработки при 880 °С подвергается дегидратации с образованием $Ni_3(PO_4)_2$ желтого цвета [3; 4].

Цвет пигментов, получаемых осаждением ионов никеля из отработанных сульфатных электролитов никелирования, зависит не только от вида осадителя и условий термообработки, но и от наличия в отработанном электролите других красящих примесей, к которым относятся соединения железа, присутствующие в отработанных электролитах вследствие их загрязнения в процессе эксплуатации. Поэтому было проведено исследование влияния примесей соединений железа на цветовые характеристики пигментов, полученных из отработанных сульфатных электролитов никелирования. Для этого использовали модельные отработанные электролиты сульфатного никелирования с различным содержанием ионов Fe (III) (от 0 до 2,0 г/дм³). В табл. 3 представлены результаты осаждения ионов никеля из МОЭН с различным содержанием ионов Fe (III) гидроксидом и фосфатом натрия.

Таблица 3

Влияние содержания ионов Fe (III) на выход осадка при осаждении ионов никеля из модельных отработанных электролитов никелирования

Table 3

Influence of Fe (III) ion content on precipitate yield during deposition of nickel ions from model spent nickel plating electrolytes

Концентрация ионов Fe (III) в МОЭН, г/дм ³	Выход осадка, г из 1 дм ³ ОЭН	Остаточная концентрация ионов Ni (II) в фильтрате, мг/дм ³	Остаточная концентрация ионов Fe (III) в фильтрате, мг/дм ³
Осадитель – гидроксид натрия			
0	61,1	0,125	0,144
0,1	61,2	0,127	0,135
0,2	61,4	0,126	0,129
0,5	62,1	0,131	0,150
1,0	63,2	0,125	0,131
1,5	63,5	0,135	0,139
2,0	64,5	0,115	0,140
Осадитель – фосфат натрия			
0	212,4	1,453	0,164
0,1	212,7	1,411	0,156
0,2	212,9	1,446	0,161
0,5	213,7	1,457	0,145
1,0	215,0	1,513	0,149
1,5	216,4	1,406	0,151
2,0	217,7	1,384	0,147

Незначительное увеличение количества образующегося осадка с увеличением концентрации ионов Fe (III) в исходных растворах связано с соосаждением ионов железа и ионов никеля.

Колористические характеристики полученных образцов представлены на рис. 1, 2 и в табл. 4, 5. При использовании в качестве осадителя гидроксида натрия увеличение содержания ионов Fe (III) от 0 до 2 г/дм³ в МОЭН приводит к смещению оттенка образцов из области зеленого цвета в сторону области желтого цвета (линия АБ на рис. 1). При этом также происходит снижение яркости L* высушенных образцов от 72,86 до 55,36, то есть на 24,0 % (рис. 2а; табл. 4). Увеличение содержания ионов Fe (III) в МОЭН до 0,2 г/дм³ практически не влияет на чистоту цвета С, о чем свидетельствует рассчитанное значение ΔС (табл. 4). Дальнейшее увеличение содержания ионов Fe (III) приводит к снижению чистоты цвета С до 25,5, то есть на 21,8 % по сравнению с нулевым образцом (рис. 2; табл. 4).

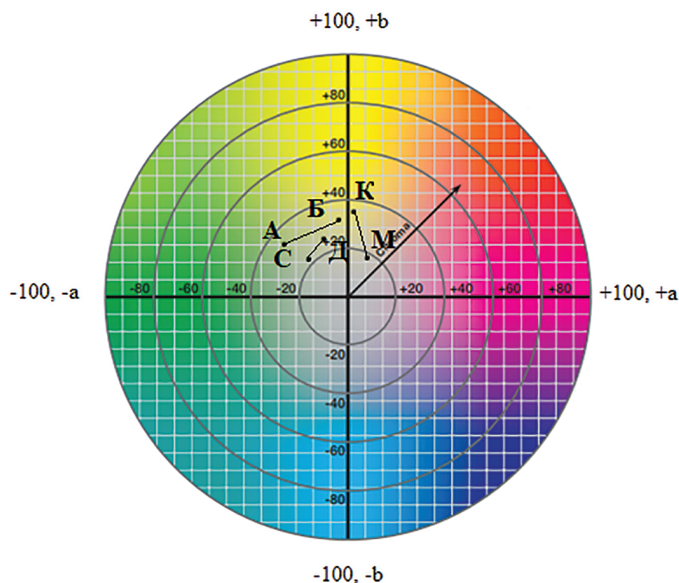


Рис. 1. Колористические характеристики образцов, полученных осаждением ионов Ni (II) из модельных отработанных электролитов никелирования с различным содержанием ионов Fe (III) растворами гидроксида и фосфата натрия после высушивания и прокаливания

Fig. 1. Color characteristics of samples obtained by precipitation of Ni (II) ions from model spent nickel plating electrolytes with different contents of Fe (III) ions by solutions of sodium hydroxide and phosphate after drying and calcination

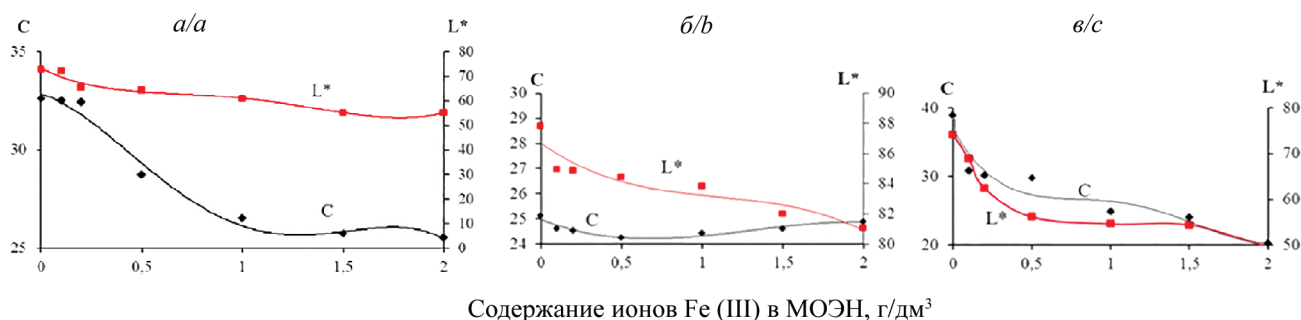


Рис. 2. График зависимости яркости L^* и чистоты цвета C от содержания ионов Fe (III) образцов, полученных осаждением ионов Ni (II) из модельных отработанных электролитов никелирования растворами гидроксида и фосфата натрия после высушивания и прокаливания

Fig. 2. Graph of the dependence of the brightness L^* and color purity C on the content of Fe (III) ions of samples obtained by precipitation of Ni (II) ions from model spent nickel plating electrolytes with solutions of sodium hydroxide and phosphate after drying and calcination

Установлено, что наличие ионов Fe (III) в ОЭН не влияет на цвет пигментов, полученных осаждением ионов никеля гидроксидом натрия с последующей термообработкой, так как в этом случае образуется оксид никеля черного цвета. Независимо от содержания соединений железа все образцы пигментов характеризуются идентичными хроматическими компонентами ($a^* = 0,11-0,13$, $b^* = 0,88-0,98$), которые соответствуют цвету, близкому к черному, и яркостью $L^* = 22,88-23,12$.

При использовании в качестве осадителя фосфата натрия увеличение содержания ионов Fe (III) от 0 до 2,0 г/дм³ в МОЭН приводит к смещению оттенка образцов из зеленой области в желтую (линия СД, рис. 1). При этом также происходит снижение яркости L^* в образцах после высушивания от 87,84 до 81,06, то есть на 8,4 % (рис. 2 б; табл. 5). Чистота цвета при этом практически не меняется (колеблется в пределах от 24,25 до 25,12).

Для образцов, полученных после термообработки при 880 °С, увеличение содержания ионов Fe (III) от 0 до 2,0 г/дм³ в МОЭН приводит к смещению оттенка образцов из области желтого цвета в область коричневого цвета (линия КМ, рис. 1), при этом наблюдается снижение яркости L^* от 74,19 до 49,63 (на 33,1 %) и чистоты цвета C от 38,92 до 20,27 (на 47,9 %) (рис. 2 в; табл. 5).

Цветовые характеристики пигментов, полученных из ОЭН различных белорусских предприятий, представлены в табл. 6. Области цветовых характеристик пигментов показаны на рис. 3.

Таблица 4

Колористические характеристики образцов, полученных осаждением ионов никеля из модельных отработанных электролитов никелирования гидроксидом натрия

Table 4

Color characteristics of samples obtained by precipitation of Ni (II) ions from model waste electrolytes nickel plating with sodium hydroxide

Содержание ионов Fe (III) в МОЭН, г/дм ³	L*	a*	b*	C*	ΔL*	ΔC
Образцы после сушки						
0	72,86	-25,01	20,91	32,6	–	–
0,1	72,02	-24,83	20,95	32,5	0,84	0,1
0,2	65,53	-24,52	21,19	32,4	6,49	0,1
0,5	64,40	-16,48	23,44	28,7	1,13	3,7
1,0	61,05	-10,54	24,35	26,5	3,35	2,2
1,5	55,40	-6,54	24,87	25,7	5,65	0,8
2,0	55,36	-4,00	25,22	25,5	0,04	0,2

Таблица 5

Колористические характеристики образцов, полученных осаждением ионов никеля из модельных отработанных электролитов никелирования фосфатом натрия

Table 5

Color characteristics of samples obtained by the precipitation of Ni (II) ions from model spent electrolytes of nickel plating with sodium phosphate

Содержание ионов Fe (III) в МОЭН, г/дм ³	L*	a*	b*	C	ΔL*	ΔC
Образцы после сушки						
0	87,84	-17,00	18,50	25,12	–	–
0,1	84,94	-16,37	18,38	24,61	2,90	0,51
0,2	84,87	-15,44	19,06	24,53	0,07	0,08
0,5	84,46	-14,62	19,35	24,25	0,41	0,28
1,0	83,86	-13,91	20,09	24,43	0,60	-0,18
1,5	81,98	-12,72	21,06	24,60	1,88	-0,17
2,0	81,06	-11,46	22,17	24,90	0,92	-0,30
Образцы после обжига						
0	74,19	0,60	38,92	38,92	–	–
0,1	68,87	1,72	30,79	30,84	5,32	8,08
0,2	62,39	2,05	30,08	30,14	6,48	0,70
0,5	56,14	2,24	29,67	29,75	6,25	0,39
1,0	54,63	4,68	24,44	24,88	1,51	4,87
1,5	54,41	5,11	23,52	24,07	0,22	0,81
2,0	49,63	7,26	18,92	20,27	4,78	3,80

Цветовые характеристики образцов, полученных из отработанных электролитов никелирования различных белорусских предприятий

Table 6

Color characteristics of samples obtained from spent electrolytes of nickel plating of various Belarusian enterprises

Предприятие	Образцы после сушки				Образцы после обжига			
	L*	a*	b*	C	L*	a*	b*	C
Осадитель – гидроксид натрия								
1	71,02	-24,73	21,03	32,46	22,98	0,11	0,88	0,89
2	72,35	-24,98	20,35	32,22	22,88	0,11	0,96	0,96
3	65,82	-24,72	22,19	33,22	22,85	0,15	0,93	0,94
Осадитель – фосфат натрия								
1	86,45	-16,56	18,41	24,76	69,87	1,55	31,85	31,89
2	87,29	-17,79	17,98	25,29	73,97	0,65	38,54	38,55
3	85,11	-16,11	18,24	24,34	65,49	1,75	31,67	31,72

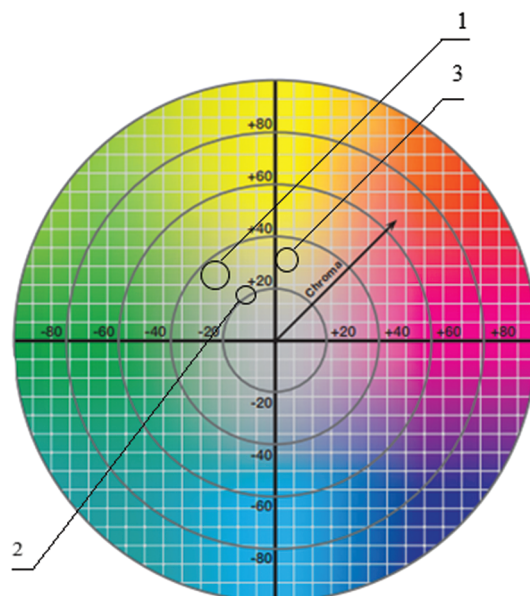


Рис. 3. Колористические характеристики образцов, полученных из отработанных электролитов никелирования:
1 – $3\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ni}_{1,945}\text{O}_3\text{H}_{0,815}$ и $\text{Ni}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$; 2 – $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; 3 – $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$

Fig. 3. Color characteristics of samples obtained from spent nickel plating electrolytes:
1 – $3\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ni}_{1,945}\text{O}_3\text{H}_{0,815}$ и $\text{Ni}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$; 2 – $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; 3 – $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$

Для полученных образцов пигментов были также определены другие свойства: массовая доля соединений никеля в пересчете на NiO составила от 60 до 97 % (в зависимости от осадителя, условий термообработки и исходного состава отработанного электролита), массовая доля веществ, растворимых в воде – не более 0,1 %, остаток после просеивания на сите № 0056 – не более 0,05 %, содержание частиц фракции 1–20 мкм от 14 до 28 %, частиц фракции 20–50 мкм от 40 до 56 %, pH водной суспензии от 7,1 до 7,3, маслосмекость от 48 до 85 г на 100 г пигмента. Свойства полученных никельсодержащих пигментов соответствуют свойствам пигментов, выпускаемых в настоящее время на мировом рынке (пигмент Nickel Yellow, Emperor industry Limited, Китай). Они прошли успешную апробацию в качестве пигмента в глазурях и мастике на ОАО «Керамин», что подтверждается результатами опытно-промышленных испытаний.

Заклучение

Проведенные исследования подтверждают возможность использования отработанных электролитов никелирования для получения пигментов различной цветовой гаммы (зеленой, желто-коричневой, а также черного пигмента). Это позволит превращать жидкий отход гальванического производства в ценное вторичное сырье; получать ценный продукт (пигменты), который в настоящее время не производится в Республике Беларусь, а полностью поставляется из-за рубежа. Таким образом, это даст возможность снизить негативное воздействие гальванического производства на окружающую среду за счет снижения количества образующегося осадка сточных вод гальванического производства вследствие предотвращения сброса с промывными водами концентрированных отработанных электролитов.

Библиографические ссылки

1. Виноградов СС. *Экологически безопасное гальваническое производство*. Москва: Глобус; 2002. 352 с.
2. Марцуль ВН и др. Очистка сточных вод гальванических цехов предприятий Республики Беларусь. *Труды БГТУ. Химическая технология неорганических материалов и веществ*. 2013;3:61–66.
3. Чеprasова ВИ, Залыгина ОС. Отработанные электролиты никелирования как вторичный сырьевой ресурс. *Природные ресурсы*. 2017;2:126–134.
4. Zalyhina V, Cheprasova V, Belyaeva V, Romanovski V. Pigments from spent Zn, Ni, Cu, and Cd electrolytes from electroplating industry. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;42:1–9.
5. Котик ФИ. *Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов: справочник*. Москва: Машиностроение; 1978. 191 с.
6. Алов НВ, и др. *Основы аналитической химии*. Третье издание. Москва: Академия; 2004. 503 с.

References

1. Vinogradov SS. *Ekologicheski bezopasnoye gal'vanicheskoye proizvodstvo* [Environmentally friendly galvanic production]. Moscow: Globus; 2002. 352 p. Russian.
2. Martsul VN, et al. *Ochistka stochnykh vod galvanicheskikh tsekhov predpriyatiy Respubliki Belarus'* [Wastewater treatment of galvanic workshops of enterprises of the Republic of Belarus]. *Proceedings of BSTU. Chemical technology of inorganic materials and substances*. 2013;3:61–66. Russian.
3. Cheprasova VI, Zalygina OS. *Otrabotannyye elektrolity nikelirovaniya kak vtorichnyy syr'yevoy resurs* [Waste electrolytes of nickel plating as a secondary raw material resource]. *Natural resources*. 2017;2:126–134. Russian.
4. Zalyhina V, Cheprasova V, Belyaeva V, Romanovski V. Pigments from spent Zn, Ni, Cu, and Cd electrolytes from electroplating industry. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;42:1–9.
5. Kotik FI. *Uskorennyy kontrol' elektrolitov, rastvorov i rasplavov: spravochnik* [Accelerated control of electrolytes, solutions and melts: a reference book]. Moscow: Mashinostroenie; 1978. 191 p. Russian.
6. Alov NV, et al. *Osnovy analiticheskoy khimii. Tret'e izdanie* [Fundamentals of analytical chemistry. 3rd edition]. Moscow: Academy; 2004. 503 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 21.04.2021.
Received by editorial board 21.04.2021.