

# ДИЗАЙН

Научная статья

УДК 673+535.6+745+621.357.8

EDN OSDGLI

doi 10.34216/2587-6147-2023-4-62-24-30

**Сергей Ильич Галанин**<sup>1</sup>

**Татьяна Викторовна Лебедева**<sup>2</sup>

**Дмитрий Максимович Юсупов**<sup>3</sup>

**Денис Максимович Юсупов**<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

<sup>1</sup> sgalanin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5425-348X>

<sup>2</sup> letavi44@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7744-4193>

<sup>3</sup> dimasmirnov\_2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6977-4425>

<sup>4</sup> denis.yusupov.2020@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2948-9412>

## ДЕКОРАТИВНОЕ АНОДИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА

**Аннотация.** В статье отмечен возросший интерес в ювелирной промышленности к изделиям из титана с использованием цветных декоративных покрытий. Приводятся результаты экспериментального исследования электрохимического формирования декоративных цветных конверсионных покрытий на поверхности сплавов титана BT1-0, OT4, BT20 в различных электролитах. Исследовано влияние шероховатости поверхности на цвет формируемых покрытий. Показано влияние состава сплава, состава электролита, режимов электролиза и шероховатости поверхности на цвет формируемых покрытий. Отмечено явление цветовой зональности покрытий при некоторых режимах электролиза. Выработаны технологические рекомендации для получения декоративных покрытий на поверхности ряда сплавов титана необходимых цветов в производственных условиях.

**Ключевые слова:** ювелирные изделия из титана, цветные конверсионные покрытия, шероховатость поверхности, анодирование поверхности титана, цветовая зональность покрытий, электролит, цвет

**Для цитирования:** Декоративное анодирование поверхности титана / С. И. Галанин, Т. В. Лебедева, Дм. М. Юсупов, Д. М. Юсупов // Технологии и качество. 2023. № 4(62). С. 24–30. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-4-62-24-30>.

Original article

**Sergey I. Galanin**<sup>1</sup>

**Tatiana V. Lebedeva**<sup>2</sup>

**Dmitry M. Yusupov**<sup>3</sup>

**Denis M. Yusupov**<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Kostroma State University, Kostroma, Russia

## DECORATIVE ANODISING OF TITANIUM SURFACE

**Abstract.** Increased interest in the titanium jewellery industry for the products made of titanium with the use of decorative colour coatings, has been noted in the article. The results of experimental studies of decorative colour conversion coatings on the surface of titanium alloys BT1-0, OT4, BT20 in different electrolytes are given. The influence of surface roughness on the colour of the formed coatings has been investigated. The influence of the alloy composition, electrolyte composition, electrolysis modes and surface roughness on the colour of the formed coatings has been shown. The phenomenon of colour zoning of the coatings at some electrolysis modes has been noted. Technological recommendations for obtaining decorative coatings on the surface of a number of titanium alloys in the required colour under production conditions have been developed.

© Галанин С. И., Лебедева Т. В., Юсупов Дм. М., Юсупов Д. М., 2023

**Keywords:** titanium jewellery, colour conversion coatings, surface roughness, anodising of titanium surface, colour zoning of coatings, electrolyte, colour

**For citation:** Galanin S. I., Lebedeva T. V., Yusupov Dm. M., Yusupov D. M. Decorative anodising of titanium surface. *Technologies & Quality*. 2023. No 4(62). P. 24–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-4-62-24-30>.

В последнее время наметился существенный рост популярности ювелирно-художественных изделий с применением титановых сплавов [1, 2]. Титан достаточно широко используется зарубежными и отечественными ювелирными брендами как в эксклюзивных ювелирных изделиях, так и в бижутерии [2, 3]. На поверхности титана и его сплавов возможно электрохимическое формирование декоративных конверсионных покрытий широкой цветовой гаммы [4–6]. Покрытия формируются в анодном режиме в электролитах различного состава. При этом цвет покрытий зависит от состава сплава, состава электролита, режимов электролиза. Однако в литературе отсутствуют технологические рекомендации по формированию покрытий на конкретных сплавах в конкретных электролитах. Предприятия, выпускающие изделия с использованием различных сплавов титана, при смене сплава сталкиваются с необходимостью

проведения соответствующих экспериментальных исследований для получения покрытия необходимого цвета.

В статье сделана попытка выявить закономерности цветообразования формируемых покрытий и приступить к созданию альбома их цветов на различных сплавах в различных электролитах. Также исследовано влияние шероховатости исходной поверхности на цветовые характеристики формируемых покрытий.

**Описание методики проведения экспериментов.** Покрытия формировались на поверхности следующих сплавов: титан технический ВТ1-0, ОТ4, ВТ20. Химический состав сплавов указан в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что суммарное содержание примесей в сплавах возрастает в ряду ВТ1-0, ОТ4, ВТ20, что позволяет провести предварительное исследование влияния количества примесей на цвет формируемых покрытий.

Т а б л и ц а 1

Химический состав исследованных сплавов титана

Марка сплава	Ti	Fe	C	Si	N	O	H	Mn	Al	Zr	Mo	V
ВТ1-0	99,58...99,9	До 0,15	До 0,05	До 0,08	До 0,04	До 0,1	До 0,008	–	–	–	–	–
ОТ4	91,638...95,7	До 0,3	До 0,1	До 0,1	До 0,05	До 0,15	До 0,012	0,8...2,0	3,5...5,0	до 0,3	–	–
ВТ20	85,15...91,4	До 0,25	До 0,1	До 0,1	До 0,05	До 0,15	До 0,15	–	5,5...7,0	1,5...2,5	0,5...2,0	0,8...2,5

Площадь обрабатываемой поверхности образцов 1,5 см<sup>2</sup>. Поверхность образцов шлифовалась на бормашине Fogedom наждачной бумагой с показателем зернистости Р400, а затем обезжиривалась в Нефрас С2 80/120. Обработка проводилась в водных растворах 20 % С<sub>6</sub>Н<sub>8</sub>О<sub>7</sub>, 20 % NaHCO<sub>3</sub>, 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Электролиты готовились из химреактивов марки «Ч» и дистиллированной воды. В связи с тем что в условиях образования конверсионной пленки сопротивление ванны достаточно велико, то контроль за процессом производился не по плотности тока, а по напряжению на ванне. Напряжение на ванне изменялось ступенчато и составляло 7, 14, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 В. Продолжительность обработки на каждом напряжении 1, 5, 10 мин.

Значения RGB сформированных цветных покрытий определялись с помощью интернет-ресурса [7].

При исследовании влияния шероховатости на цвет формируемых конверсионных по-

крытий использовался сплав ВТ20. Образцы последовательно обрабатывались наждачной бумагой с различными показателями зернистости: 400, 800, 1200. Далее механически полированные образцы площадью поверхности 1,5 см<sup>2</sup> обрабатывались анодно в 20 % водном растворе NaCl. Электролит приготавливался из химреактива марки «Ч» и дистиллированной воды. Далее поверхность анодировалась в электролите 20 % NaHCO<sub>3</sub> при напряжении 55 В в течение 10 мин. Вид поверхности после каждого этапа обработки фотографировался с помощью микроскопа при увеличении 10.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Процесс формирования покрытий в растворе серной кислоты отличался нестабильностью и не позволил получить покрытия во всем экспериментальном диапазоне. Поэтому данные не приводятся и не обсуждаются.

Зависимость значений RGB покрытий, сформированных в электролите 20 % NaHCO<sub>3</sub>

при продолжительности электролиза 10 мин и напряжениях 7, 30, 40, 65 В, представлена на рис. 1. Цвета покрытий\* представлены в табл. 2.

На рис. 2 представлена зависимость RGB покрытий на исследованных сплавах ВТ1-0, ОТ4, ВТ20 в электролите 20 %  $\text{NaHCO}_3$  при напряжении 25 В и продолжительности электролиза 10 мин.

Зависимость значений RGB покрытий, сформированных в электролите 20 %  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  при продолжительности электролиза 10 мин и напряжении 7, 30, 40, 65 В, представлена на рис. 3. Цвета покрытий представлены в табл. 3.

Зависимость RGB покрытий на исследованных сплавах ВТ1-0, ОТ4, ВТ20 в электролите 20 %  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  при напряжении 60 В и продолжительности электролиза 5 мин представлена на рис. 4.

Анализ полученных результатов выявил изменение значения RGB цвета покрытий в зависимости от подаваемого напряжения и состава сплава титана. Видно, что на поверхности каждого сплава происходит уникальное изменение цве-

та при изменении режимов электролиза. С увеличением напряжения в электролите  $\text{NaHCO}_3$  наблюдается увеличение доли значения В, в то время как в электролите  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  наблюдается, наоборот, снижение этого параметра, но увеличение, хоть и незначительное, параметра G.

Также с увеличением процентного содержания примесей в составе сплава титана увеличивается насыщенность цвета.

При определенных режимах в различных электролитах наблюдается цветовая зональность покрытий, сформированных на поверхности различных сплавов (табл. 4, 5). Скорее всего, она вызвана неравномерностью в электрохимическом отношении обрабатываемой поверхности и сложной вольт-амперной характеристикой, от которой зависят процессы формирования покрытий.

В процессе анодной электрохимической обработки сплава ВТ20 в 20 % растворе  $\text{NaCl}$  изменялась величина шероховатости поверхности (табл. 6).

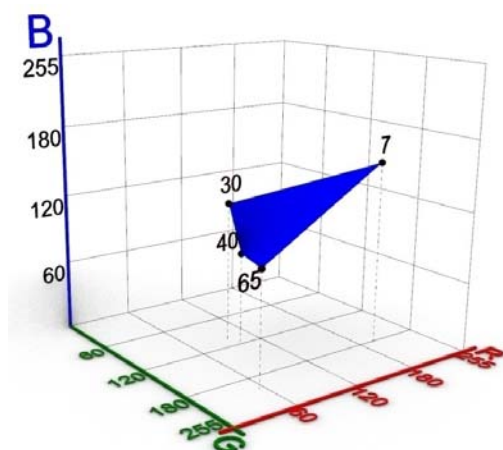


Рис. 1. Зависимость значения RGB покрытий на сплаве ВТ20 от напряжения на ванне в электролите 20 %  $\text{NaHCO}_3$  при продолжительности электролиза 10 мин

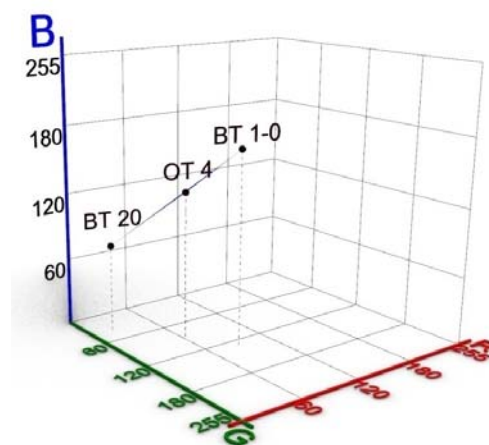
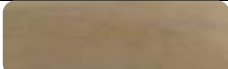
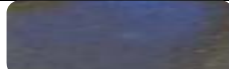
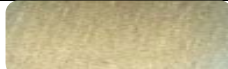








Рис. 2. Зависимость RGB покрытий на исследованных сплавах ВТ1-0, ОТ4, ВТ20 в электролите 20 %  $\text{NaHCO}_3$  при напряжении 25 В и продолжительности электролиза 10 мин

Таблица 2  
Зависимость цвета от напряжения в электролите 20 %  $\text{NaHCO}_3$  при продолжительности обработки 10 минут

V, В / RGB	ВТ1-0	ОТ4	ВТ20
7	 149,125,95	 80,84,111	 194,181,157
14	 93,121,150	 168,109,176	 112,96,242
20	 120,104,167	 67,69,119	 108,171,134

\* Полноцветная версия статьи представлена на сайте журнала. URL: <https://tik.ksu.edu.ru>.

Окончание табл. 2

V, В / RGB	BT1-0	OT4	BT20
25	 90,128,170	 60,92,131	 22,35,77
30	 79,105,131	 153,155,127	 101,116,79
35	 72,113,117	 253,253,215	 188,188,100
40	 153,123,99	 80,79,77	 192,162,152
45	 165,129,129	 73,93,128	 98,102,120
50	 221,204,176	 114,103,80	 121,106,179
55	 141,120,89	 67,95,158	 48,65,102
60	 190,174,96	 61,88,145	 68,92,119
65	 26,47,90	 53,77,109	 55,200,97

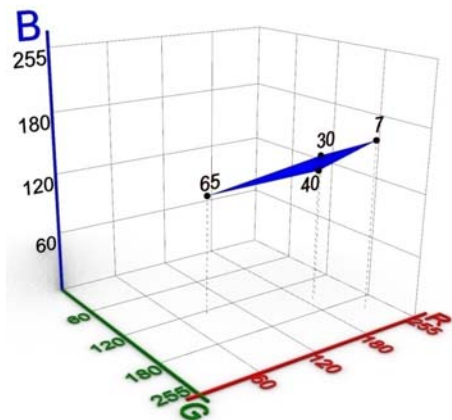


Рис. 3. Зависимость значения RGB покрытия на сплаве BT20 от напряжения на ванне в электролите 20 %  $C_6H_8O_7$  при продолжительности электролиза 10 мин

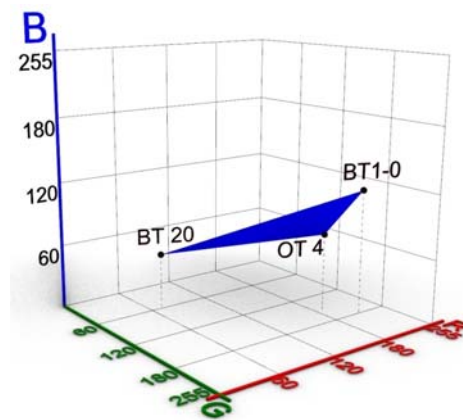


Рис. 4. Зависимость RGB покрытий на исследованных сплавах BT1-0, OT4, BT20 в электролите 20 %  $C_6H_8O_7$  при напряжении 60 В и продолжительности электролиза 5 мин

Таблица 3

Зависимость цвета покрытия от напряжения в электролите 20 %  $C_6H_8O_7$  при продолжительности обработки 10 мин

V, В / RGB	BT1-0	OT4	BT20
7	 141,107,81	 207,175,121	 220,196,163
14	 82,78,84	 181,149,124	 150,144,154

Окончание табл. 3








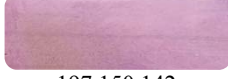












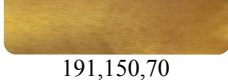

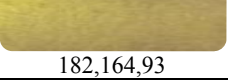
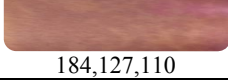

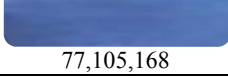

$V, B / RGB$	BT1-0	OT4	BT20
20	 63,78,121	 104,117,125	 85,119,165
25	 32,47,88	 112,130,140	 56,70,73
30	 62,82,110	 93,116,128	 197,150,142
35	 86,126,131	 105,131,144	 122,90,140
40	 146,113,98	 55,46,97	 185,161,132
45	 161,127,126	 169,157,117	 178,155,183
50	 219,202,176	 186,166,105	 163,123,63
55	 153,132,101	 191,150,70	 165,214,219
60	 182,164,93	 184,127,110	 103,133,121
65	 30,47,89	 77,105,168	 89,122,115

Таблица 4

Цветовая зональность покрытий в электролите 20 %  $\text{NaHCO}_3$  при продолжительности обработки 5 мин



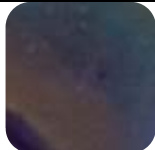


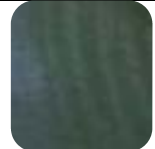
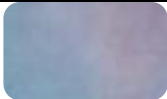


BT1-0	OT4	BT20
 $V = 14 \text{ B. RGB} = 133,184,203$	 $V = 25 \text{ B. RGB} = 134,167,200$	 $V = 30 \text{ B. RGB} = 58,63,84$
 $V = 60 \text{ B. RGB} = 50,72,100$	 $V = 60 \text{ B. RGB} = 79,93,143$	 $V = 60 \text{ B. RGB} = 73,92,94$

Таблица 5

Цветовая зональность покрытий в электролите 20 %  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  при продолжительности обработки 5 мин

BT1-0	OT4	BT20
 $V = 30 \text{ B. RGB} = 130,160,184$	 $V = 7 \text{ B. RGB} = 79,86,132$	 $V = 7 \text{ B. RGB} = 141,181,190$

Окончание табл. 5


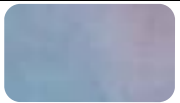




BT1-0	OT4	BT20
 V = 40 В. RGB = 176,152,178	 V = 25 В. RGB = 166,162,183	 V = 35 В. RGB = 206,201,159
 V = 65 В. RGB = 63,77,121	 V = 35 В. RGB = 165,127,62	 V = 55 В. RGB = 155,137,91

Таблица 6

Зависимость шероховатости анодно обработанной поверхности сплава BT20 от плотности тока

Показатель шероховатости по Ra, мкм	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>			
	0,03	0,06	0,08	0,10
После анодной обработки	3,1	9,3	4,7	2,5
После формирования пленки	2,12	2,6	2,4	2,03

Из таблицы 6 видно, что шероховатость поверхности в результате анодной обработки до плотности тока 0,06 А/см<sup>2</sup> возрастает, а затем уменьшается. Это связано с тем, что при низких плотностях тока обработка производится в активном режиме растворения, результат которой проявляется в росте шероховатости. При дальнейшем увеличении плотности тока наблюдается нарастание пассивационных явлений на поверхности и соответственное снижение шероховатости, что типично для титановых сплавов. После формирования пленки шероховатость поверхности ожидаемо снижается и выравнивается.

Шероховатость поверхности значительно влияет на цвет формируемого покрытия (рис. 5, табл. 7). С ростом шероховатости интенсивность окраски возрастает. Этот факт хорошо коррелирует с исследованиями восприятия цвета полированных и фактурированных поверхностей, проведенными ранее [6, 8–10].

**ВЫВОДЫ**

1. Выявлено изменение значения RGB цвета покрытий в зависимости от напряжения на ванне, состава сплава титана и состава электролита. На поверхности каждого сплава происходит формирование покрытий уникального цвета при изменении режимов электролиза.

2. С увеличением процентного содержания примесей в составе сплава титана увеличивается насыщенность цвета формируемых конверсионных покрытий.

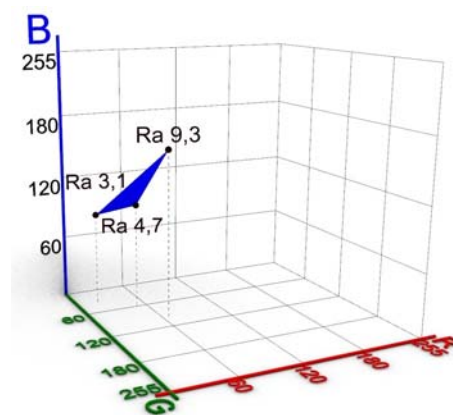


Рис. 5. Изменение цвета конверсионных покрытий, сформированных на поверхностях сплава BT20 с различной шероховатостью в электролите 20 % NaHCO<sub>3</sub> при напряжении 55 В в течение 10 мин




3. При определенных режимах в различных электролитах наблюдается цветовая зональность покрытий, сформированных на поверхности различных сплавов.

4. Шероховатость поверхности значительно влияет на цвет формируемого покрытия. С ростом шероховатости интенсивность окраски возрастает.

5. Определены технологические режимы формирования цветных конверсионных покрытий на поверхности ряда титановых сплавов, что позволяет с успехом использовать данную технологию при изготовлении ювелирно-художественных изделий.

Таблица 7

Зависимость цвета покрытия от шероховатости поверхности

Значение шероховатости по Ra, мкм	3,1	4,7	9,3
Цвет, RGB	 18, 40, 90	 48, 65, 102	 67, 95, 158

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галанин С. И. Титан и украшения из титана // Ювелиртех. Ювелирные технологии для профессионалов. Журнал-каталог. Октябрь 2021 – январь 2022 г. URL: [magview.uvelir.info/dKSofjFy](http://magview.uvelir.info/dKSofjFy) (дата обращения: 26.06.2023).
2. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Титан в ювелирных украшениях и бижутерии // Технологии и качество. 2022. № 1(55). С. 59–64.
3. Галанин С. И., Рыбакова И. В., Колупаев К. Н. Особенности российских ювелирных брендов // Технологии и качество. 2023. № 3(61). С. 34–43.
4. Исследование электрохимического формирования декоративных цветных пленок на поверхности титана OT4-1 / С. И. Галанин, Л. В. Попова, Ю. П. Евграфова, С. А. Соков // Дизайн. Материалы. Технология. 2009. № 2(9). С. 20–22.
5. Галанин С. И. Ювелирно-художественные технологии: декоративная электрохимическая обработка поверхности титана // Мир гальваники. 2018. № 1(39). С. 20–28.
6. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Особенности создания современных ювелирно-художественных изделий : монография. Кострома : Костромской государственной университет, 2023. 173 с. 1 CD-ROM.
7. Определить цвет пиксела на картинке онлайн // Онлайн приложения и сервисы. URL: <https://ru.inettools.net/image/opredelit-tsvet-piksela-na-kartinke-onlayn> (дата обращения: 02.06.2023).
8. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Выбор цветовых характеристик ювелирных изделий и бижутерии при проектировании // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2019. Т. 39, № 2. С. 108–113.
9. Галанин С. И., Ляпина А. С. Исследование колористических характеристик недорогих металлов и сплавов для ювелирных изделий и бижутерии // Технологии и качество. 2018. № 1(39). С. 17–24.
10. Галанин С. И., Ляпина А. С. Колористические характеристики ряда цветных металлов и сплавов для ювелирных изделий и бижутерии // Технологии и качество. 2017. № 2(38). С. 29–35.

## REFERENCES

1. Galanin S. I. Titanium and Titanium Jewelry. Yuvelirteh. Jeweller technologies for professionals. Magazine-catalogue. October 2021 – January 2022. URL: [magview.uvelir.info/dKSofjFy](http://magview.uvelir.info/dKSofjFy) (Accessed 26.06.2023). (In Russ.)
2. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Titanium in jewellery and costume jewellery. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;1(55):59–64. (In Russ.)
3. Galanin S. I., Rybakova I. V., Kolupaev K. N. Features of Russian jewelry brands. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;3(61):34–43. (In Russ.)
4. Galanin S. I., Popova L. V., Evgrafova J. P., Sokov S. A. Decorative colored chaps on titanium OT4-1 surface. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials. Technology]. 2009;2(9):20–22. (In Russ.)
5. Galanin S. I. Jewelry and art technologies: decorative electrochemical treatment of titanium surface. *Galvanic World*. 2018;1(39):20–28.
6. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Features of the creation of modern jewelry and art products. Kostroma : Kostrom. St. Univ. Publ., 2023. 173 p. 1 CD-ROM. (In Russ.)
7. Determine the color of a pixel in a picture online. URL: <https://ru.inet-tools.net/image/opredelit-tsvet-piksela-na-kartinke-onlayn> (Accessed 02.06.2023).
8. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Selection of color characteristics of jewelry products and bijouterie during the design. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti* [Proceedings of higher educational institutions. Light industry technology]. 2019;39,2:108–113. (In Russ.)
9. Galanin S. I., Lyapina A. S. Research of coloristic characteristics of non-precious metals and alloys and costume jewellery. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2018;1(39):17–24. (In Russ.)
10. Galanin S. I., Lyapina A. S. Coloring characteristics of a number of nonferrous metals and alloys for jewellery and costume jewellery. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2017;2(38):29–35. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 29.06.2023

Принята к публикации 22.11.2023