

А.А. Дроздов, В.Д. Долженко, М.Н. Андреев, В.В. Лунин*

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СМАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ
НА УСТЬ-РУДИЦКОЙ ФАБРИКЕ М.В. ЛОМОНОСОВА**

A.A. Drozdov, V.D. Dolzhenko, M.N. Andreev, V.V. Lunin

**THE TECHNOLOGICAL STUDIES OF SMALT GLASS
MANUFACTURE AT M.V. LOMONOSOV'S
UST'-RUDITSA FACTORY**

Аннотация. Основанная М.В. Ломоносовым в 1753 г. в деревне Усть-Рудица фабрика «делания изобретенных им разных цветов стекол, и из них бисера, пронизок и стекляруса и всяких других галантерейных вещей и уборов» прекратила свое существование не позднее 1768 г. Проведенный нами анализ состава смальтовых стекол, произведенных в химической лаборатории М.В. Ломоносова и на Усть-Рудицкой фабрике в 1749–1767 гг., позволил реконструировать уникальную технологию их производства. Она заключается в использовании двух фритт — высокосвинцовой «желтой фритты» и поташной «белой фритты», а также костной муки и извести. На первых этапах работы со стеклом ученый использовал готовые фритты, произведенные на других предприятиях. В качестве добавок, вызывающих глушение стекол, помимо кости ученый использовал белый мышьяк и антимоний. Таким образом, можно предположить, что именно М.В. Ломоносов

* *Дроздов Андрей Анатольевич*, искусствовед, кандидат химических наук, доцент химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Drozdov Andrey Anatol'yevich, Art Historian, PhD Candidate in Chemistry, Associate Professor, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University

+7-916-557-42-83; camertus@mail.ru

Долженко Владимир Дмитриевич, кандидат химических наук, доцент химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Dolzhenko Vladimir Dmitriyevich, PhD Candidate in Chemistry, Associate Professor, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University

Андреев Максим Николаевич, аспирант химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Andreyev Maksim Nikolayevich, PhD Student, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University

Лунин Валерий Васильевич, профессор, академик РАН, президент химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Lunin Valeriy Vasil'yevich, Full-Member of Russian Academy of Sciences, Professor, President of Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University

впервые в России стал использовать кость для глушения стекла. Варьируя соотношение двух фритт, ученый получал стекла разной окраски при неизменном количестве одного и того же красителя. Именно этим объясняется уже давно установленный факт, что, используя сравнительно небольшой набор красителей (оксидов меди, железа, марганца, кобальта, сурьмы, соединений золота и серебра), ученый добился создания широкой палитры смальтовых стекол. Впервые проведенная нами математическая обработка данных по анализу смальт позволила рассчитать составы отдельных компонентов в стекле и соотношение компонентов шихты. Высказано предположение, что именно уникальность этой технологии и ее привязка к смальтовым стеклам послужила препятствием для ее использования на других предприятиях. Однако труды М.В. Ломоносова не пропали бесследно. Навыки «составления материи», опыт использования красителей, в том числе и создания стекла «золотой рубин», научный подход к технологическому процессу, безусловно, были заложены на его фабрике в Усть-Рудице.

Ключевые слова: цветные стекла, смальты, усть-рудницкая фабрика М.В. Ломоносова, технология производства смальт, поташ, фритта.

Abstract. The factory founded by M.V. Lomonosov in the village of Ust'-Ruditsa in 1753 for "manufacturing glass of different colors invented by him, and beads from it, bead stringings and all kinds of other haberdashery items and garments" ceased to exist no later than 1768. The article presents the results of the analysis of smalt glasses made in M.V. Lomonosov's chemical laboratory and the Ust'-Ruditsa factory in 1749–1767. It allows reconstructing the unique technology of their production. This technique consists in the use of two frits – a high lead "yellow frit" and a potash "white frit", as well as bone ash and lime. At the first stages of working with glass, the scientist employed ready-made frits produced at other factories. In addition to the bone ash the scientist used white arsenic and antimony as additives that cause the clouding of glass. Thus, we can assume that it was M.V. Lomonosov who, for the first time in Russia, added bone ash as glass opacifier. Using one and the same amount of colorant he managed to change color by varying the ratio of two frits. This explains the long-established fact that, with the help of a relatively narrow set of colorants (copper, iron, manganese, cobalt, antimony, gold and silver compounds), the scientist created the wide palette of smalt glasses. The first attempted mathematical processing of smalt analysis data allows defining the compositions of individual components in glass and the ratio of charge components. It has been suggested that the uniqueness of this technology and its specificity for smalt glass manufacturing served as an obstacle to its employment at other factories. However, M.V. Lomonosov did not work in vain. The skills of "compiling matter", using colorants, producing "golden ruby" glass and the scientific approach to the technological process were undoubtedly developed at his factory in Ust'-Ruditsa.

Keywords: colored glass, smalt, M.V. Lomonosov's Ust'-Ruditsa factory, smalt technology, potash, frit.

Сырьем для производства стекла в разные исторические эпохи служили песок, измельченная кварцевая галька, а также различные флюсы, составленные на основе золы разной степени очистки или природного минерала троны. В средневековой Европе стекла изготавливали на основе зольного флюса, богатого калием и кальцием. Во второй половине XVII в. в Центральной Европе была разработана рецептура мелового стекла, в которой кальций вводили в виде мела, а в Англии — рецептура свинцового хрусталя. Европейские стекла XVIII в. по составу близки меловому стеклу, но в отличие от него, могут содержать небольшую добавку оксида свинца. Составы русских стекол этого времени, производимые на казенных заводах и крупных частных предприятиях, до настоящего времени практически не изучены.

В истории не только русского, но и мирового стеклоделия особое место занимает созданная М.В. Ломоносовым Усть-Рудицкая фабрика «делания изобретенных им разных цветов стекол, и из них бисера, пронизок и стекляруса и всяких других галантерейных вещей и уборов»¹. Основанная великим русским ученым в 1753 г., фабрика не просуществовала и полтора десятка лет. В 1767 или 1768 г. работы на фабрике прекратились, вскоре были разрушены и печи². Несмотря на краткий период деятельности предприятия, до наших дней дошли многочисленные фрагменты мозаичных смальт, которые хранятся в музейных и частных собраниях³. Более 58 тысяч фрагментов стекол

¹ Усть-Рудицкая жалованная грамота // Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф. 20. Оп. 2. Д. 8.

² Сидоров Н.И. Из истории мозаических составов М.В. Ломоносова // Известия АН СССР. VII серия. Отделение физико-математических наук. 1930. Вып. 7. С. 679–706; Сидоров Н.И. Усть-Рудицкая фабрика М.В. Ломоносова // Известия АН СССР. Сер. общественных наук. 1937. № 1. С. 149–174. Об истории усадьбы см: Козлов Д.В. Усть-Рудица — заповедник русской души // Музейная жизнь дворцов и парков: материалы науч.-практ. конференции ГМЗ «Гатчина» (14–17.11.2018). Гатчина, 2018. С. 148–161.

³ Наиболее полная коллекция усть-рудицких стекол хранится в Музее антропологии и этнографии РАН (Кунсткамере) в Санкт-Петербурге. Она составлена из 29 образцов колотых смальт (инв. МЛ189–МЛ216), поступивших в 1948 г. из Государственного Эрмитажа (они были переданы наследниками ученого), и 430 образцов стекла из раскопок В.В. Данилевского (инв. 4048–4478) — это остатки изделий (дно чернильницы), продукты экспериментальных варок из разрушенных тиглей. Основную часть собрания представляют части дисков из глушеного цветного стекла, предназначенные для выработки смальт. Усть-рудицкие смальты хранятся также в Народном музее форта «Красная горка» в Лебяжьем (директор А.И. Сенотрусов), Сосновоборском городском музее и Краеведческом музее г. Ломоносова, куда они были подарены краеведом А.В. Хвальским. Авторы признательны А.И. Сенотрусову и А.В. Хвальскому за предоставление образцов смальт для изучения и совместную поездку на место фабрики.

были обнаружены в ходе археологических раскопок, проводимых в 1949–1953 гг. сотрудниками Ленинградского Политехнического института под руководством академика В.В. Данилевского⁴. Проведенное в 1950-е гг. исследование смальтовых стекол М.В. Ломоносова позволило в общих чертах изучить их состав⁵, выявить набор красителей и охарактеризовать окраску стекол по шкале цветности⁶. В центре внимания современных исследователей оказались культурологические аспекты деятельности М.В. Ломоносова в Усть-Рудице⁷, а также исследование состава и микроструктуры смальт и огнеупорных материалов⁸. В общих чертах технология изготовления смальт рассмотрена в иконографическом аспекте по миниатюрам Усть-Рудицкой жалованной грамоты⁹. На протяжении последних пятидесяти лет специальных исследований стекол М.В. Ломоносова не проводилось, и технология их производства так и осталась неизученной. С целью восполнить этот пробел нами проведен систематический анализ со-

⁴ Результатом этих исследований явилась монография: *Данилевский В.В. Ломоносов и художественное стекло*. М., 1964. В архиве Института археологии РАН хранятся только отчеты за 1949 и 1950 гг. В отчете за 1950 г. открытый лист отсутствует. Современное местонахождение раскопанных в результате экспедиции стекол нам неизвестно. В отчете 1949 г. указано, что все находки вывезены в Ленинградский Политехнический институт. По устным свидетельствам местных жителей, работавших на раскопках, часть смальт была вывезена на грузовиках в Москву для использования их в мозаичном наборе. В ГИМ хранится выполненный из кусочков смальт сувенир, изготовленный участниками экспедиции к 70-летию И.В. Сталина с надписью «Дорогому Иосифу Виссарионовичу Сталину от трудов М.В. Ломоносова. Усть-Рудицкая экспедиция. 1949». О его изготовлении упоминается в отчете 1949 г. Авторы благодарят Е.К. Столярову (Институт археологии РАН) и Е.П. Смирнову (ГИМ) за предоставленные сведения.

⁵ *Безбородов М.А., Чеканал В.Л.* Химический состав цветных стекол М.В. Ломоносова // Доклады АН СССР. 1953. Т. ХСІ. № 3. С. 609–611.

⁶ *Данилевский В.В., Ляликов К.С.* Спектрофотометрическое и колориметрическое исследование мозаичных стекол и других цветных стекол Ломоносова // Ломоносов. Сборник статей и материалов. Вып. 5. М.; Л., 1961. С. 141–150.

⁷ *Осипов Д.В.* Усадьба Ломоносова Усть-Рудица — фабрика цветного стекла. М., 2011.

⁸ *Севастьянова Т.Н., Калинин Е.О., Сапрыкина Н.Н., Холкина Е.А.* Анализ огнеупорных материалов, найденных на месте Усть-рудицкой фабрики М.В. Ломоносова неразрушающими методами анализа // Вестник СПбГУ. Сер. физика и химия. 2017. Т. 4(62). Вып. 3. С. 326–336; *Тихонов П.А., Калинина М.В.* Физико-химическое исследование цветных смальт и стекловаренных тиглей из раскопок Химической лаборатории и Усть-Рудицкой фабрики М.В. Ломоносова // Ломоносов: сб. статей и материалов. Т. X. СПб., 2011. С. 407–416. Технологические аспекты производства стекла на Усть-Рудицкой фабрике остались вне поля зрения авторов.

⁹ *Тункина И.В.* Усть-Рудицкая жалованная грамота М.В. Ломоносова из фондов Санкт-Петербургского филиала архива РАН // Сборник статей и материалов, посвященных 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова. СПб., 2011. С. 140–174.

ставов смальт, как найденных на месте Усть-Рудицкой фабрики, так и предоставленных для изучения¹⁰.

Варка смальт на Усть-рудицкой фабрике осуществлялась в небольших глиняных тиглях цилиндрической или конической формы объемом от 0,8 до 2,5 л, в которые загружали измельченную смесь красителя и фритты¹¹. Фритту готовили в горшках объемом от 5 до 16 л. В лабораторных записях М.В. Ломоносова за 1751 г.¹² упоминаются два вида фритты: белая прозрачная (бессвинцовая), на основе поташа и «белого песка», и желтая (свинцовая), сваренная из сурика и «желтого песка». Эта запись является единственным сохранившимся свидетельством разработанной великим русским ученым уникальной технологии производства цветного стекла. Фритты представляли собой не спекшуюся пористую массу, а уже сваренные стекла, которые выработывали, закаляли и измельчали. Состоящая из оксида свинца и кремнезема желтая фритта — это практически бесщелочное высокосвинцовое стекло $PbO-SiO_2$, хорошо известное еще древнерусским стеклоделам. Определить его состав помог случай. На стенке одного из фрагментов стекловаренного горшка, найденного в отвалах в районе плотины Усть-Рудицкой фабрики, были обнаружены остатки прозрачного стекла желтого цвета, которые на основе анализа могут быть отождествлены с желтой фриттой. Исследованное стекло **1** (таблица 1) представляет собой высокосвинцовый состав (61,3% PbO), относимый к группе бесщелочных стекол $PbO-SiO_2$. Варка его велась без добавления золы или поташа.

¹⁰ МАЭ РАН имени Петра Великого. Акты передачи ВВ461 от 20.10.2015 и ВВ463а от 04.02.2016; СПбГУ. Акт передачи от 20.10.2015.

¹¹ Термин «фритта» имеет в исторической технологии различные значения. В археологии Древнего Востока фриттами называют стеклокерамические материалы, которые по сравнению со стеклом содержат меньше флюса, т.е. подобно керамике имеют зернистое строение. В технологии производства стекла под фриттой понимают недоваренное стекло, в котором только началось стеклообразование. Такой двухстадийный процесс производства стекла описан у Георгия Агриколы, который изучил венецианскую технологию. Фритта представляет собой спекшуюся пористую массу, легко отделимую от тигля. «Такое стекло еще не свободно от шлака. Поэтому ему дают остыть, вынимают из печи и дробят на куски. В этой же печи нагревают горшки, в которые позже кладут раздробленное стекло» (*Георгий Агрикола. О горном деле и металлургии. Кн. XII. М., 1962. С. 534*). Фритту измельчали, переносили в горшок, который помещали в печь для варки стекла. Во времена М.В. Ломоносова на крупных стекольных заводах Европы редко прибегали к фриттованию как отдельной технологической операции. Раскопки Данилевского в Усть-Рудице также не обнаружили пористых фритт. Это позволяет предположить, что данный термин использовался М.В. Ломоносовым в значении «полуфабрикат», т.е. практически готовое стекло, которое измельчали (например, выливанием расплавленной массы в воду) и использовали для составления новой шихты.

¹² ААН. Ф. 20. Оп.1. № 5. Л. 56 об.

Состав исследованных стекол из Усть-Рудницы

№	Образец	Состав, масс. % (Ag и Au в ppm, 1 ppm = 0.0001%)													
		SiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Sb ₂ O ₃	P ₂ O ₅	PbO	Другие
1	Янтарное стекло из тигля	32.53	2.00	0.48	0.13	0.40	0.04	1.99	0.00	0.70	0.15	0.04	0.07	61.35	Ag 43
2	Синее стекло из тигля	67.70	13.34	4.97	1.02	7.36	0.05	0.57	0.01	0.40	0.00	0.05	0.25	0.80	CuO 3.39 Ag 11
3	Темно-зеленое стекло из тигля	42.50	3.46	0.93	0.10	0.07	0.04	0.57	0.02	0.25	0.00	0.26	0.00	51.72	Ag 14
4	Темно-зеленая смальта	39.47	4.91	2.30	0.17	1.86	0.01	0.33	0.68	0.20	0.00	0.05	0.75	43.22	CuO 5.88 Ag 83
5	Зеленовато-коричневая смальта	43.34	5.00	3.66	0.19	1.86	0.05	0.63	0.10	0.21	0.35	0.51	0.10	41.51	CuO 2.41 Ag 21
6	Малахитовая смальта	46.06	2.87	3.26	0.13	1.72	0.08	0.10	0.15	0.07	0.21	0.81	0.53	41.34	NiO 0.36 Cu 2.27 Ag 11
7	Бирюзовая смальта	47.12	4.58	2.04	0.23	2.22	0.01	0.24	0.88	0.17	0.19	0.07	0.54	40.36	CuO 1.3
8	Желто-зеленое стекло из тигля	43.20	8.44	6.95	0.18	0.40	0.12	0.58	0.23	0.13	0.00	0.13	1.80	37.78	
9	Молочно-белая смальта	41.90	4.19	4.54	0.10	0.20	0.07	0.13	1.34	0.07	0.30	0.10	1.46	45.56	
10	Молочно-белая смальта	47.13	5.54	5.64	0.14	0.28	0.07	0.22	1.60	0.11	0.15	0.06	1.61	37.42	Ag 11
11	Оранжевая смальта	39.89	5.74	3.40	0.26	1.18	0.30	1.65	0.07	2.03	0.15	0.11	0.80	26.04	CuO 37.71 Ag 38
12	Темно-зеленая смальта	45.51	11.62	4.84	0.23	0.32	0.05	0.27	0.06	0.15	0.69	0.17	2.50	28.82	CuO 4.68
13	Опаловая смальта	52.12	9.58	3.46	0.29	1.48	0.02	0.25	1.62	0.19	0.25	0.03	0.99	29.66	
14	Бледно-розовая смальта из тигля	52.57	5.58	10.83	0.21	2.74	0.10	1.30	0.46	0.14	0.00	0.11	1.78	28.21	Au 22 SnO ₂ 0.06

Таблица 1 (окончание)

№	Образец	Состав, масс.% (Ag и Au в ppm, 1 ppm = 0.0001%)													
		SiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Sb ₂ O ₃	P ₂ O ₅	PbO	Другие
15	Розовая смальта из тигля	52.12	5.26	6.74	0.30	3.69	0.09	0.35	1.19	0.10	0.00	0.03	0.04	32.11	Au 66 SnO ₂ 0.63
16	Кобальтовая смальта	54.98	9.61	6.96	0.24	0.42	0.16	0.24	2.05	0.16	0.41	0.02	1.19	23.34	CoO 0.07 NiO 0.05
17	Диск темно-зеленого стекла	52.33	10.42	6.88	0.34	2.98	0.16	1.44	0.48	0.50	0.14	0.96	0.59	18.69	CuO 3.94 Ag 13
18	Синее стекло	67.41	11.74	2.84	0.39	2.19	0.04	0.65	1.12	0.48	0.38	0.04	0.40	11.58	CoO 0.18 NiO 0.2
19	Купоросная с зеленью смальта	72.45	10.11	3.21	0.34	5.21	0.02	0.23	0.00	0.26	0.37	0.02	0.25	4.32	CuO 3.13
20	Красно-коричневая смальта	75.01	15.86	2.75	0.31	0.58	0.02	0.24	0.00	0.57	0.36	0.02	0.11	3.76	Au 194 SnO ₂ 0.33
21	Синяя купоросная смальта	75.01	12.05	3.13	0.42	3.06	0.02	0.30	0.01	0.23	0.56	0.06	0.28	2.91	CuO 1.86
22	Фрагмент сосуда, голубая смальта	65.42	16.21	5.95	0.16	0.20	0.06	0.31	0.42	0.50	0.61	0.05	4.16	0.88	CuO 4.96
23	Голубоватое стекло	56.85	20.95	10.71	0.62	1.61	0.09	0.40	0.87	0.29	0.36	0.05	5.05	0.44	CuO 1.59
24	Голубое стекло	63.30	14.15	12.07	0.97	1.59	0.29	0.88	0.46	0.33	0.20	0.03	4.24	0.17	CuO 1.1
25	Темно-синяя смальта	49.09	9.73	6.25	0.31	0.37	1.00	0.62	0.49	0.61	0.64	0.34	3.38	26.60	CuO 0.31
26	Розовая смальта	64.70	0.55	0.36	0.06	9.94	1.29	2.82	0.01	0.30	0.26	0.02	0.00	19.54	
27	Желтое стекло	42.15	0.29	0.15	0.06	0.05	0.01	1.58	0.01	0.52	0.00	0.13	0.00	55.00	Ag 10

Остальные элементы, входящие в состав стекла **1**, можно рассматривать как примеси, попавшие в стекло вместе с кварцем или при контакте с материалом горшка. Использование при варке желтой фритты не чистого белого, а обычного (желтого, хотя и не сильно железистого) песка объясняется ее применением для варки исключительно цветных составов. Окраску этим смальтам обеспечивали специально вводимые красители, на фоне которых окрашивающие примеси в самой фритте уже не вносят существенного вклада.

Все другие исследованные нами образцы усть-рудичских смальт представляют собой свинцовые стекла с сильно отличающимся друг от друга содержанием свинца, ни в одном из которых свинца не содержится больше, чем в стекле **1**. Это позволяет предположить, что при их варке помимо желтой фритты использованы и другие компоненты, прежде всего, упоминаемая М.В. Ломоносовым белая фритта. Первоначально мы предполагали, что она представляла собой не что иное, как недоваренное «белое», т.е. бесцветное стекло, идущее на производство посуды. Однако анализ составов показал ошибочность этой гипотезы. Результаты аналитического определения составов исследованных нами образцов опубликованы¹³. Анализируя полученные нами результаты, мы исходили из предположения, что весь содержащийся в смальтах калий попадает в стекло из одного источника, а именно из поташа. Отталкиваясь от опубликованного в литературе состава поташа, полученного по богемской технологии XVII в.¹⁴, мы провели оценочный расчет, который показал, что часть оксида фосфора и большую часть оксида кальция вводили в стекло не с поташом, а из других источников. Такой добавкой скорее всего была кость, состоящая из гидроксиапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$.

Известно, что рецепт глушения стекол костной мукой, разработанный в XVII в в Центральной Европе, вошел в книгу Иоганна Кункеля “*Ars vitraria experimentalis*”¹⁵, которая была известна Ломоносову. Используя соотношение $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ в этом минерале, мы выделили в стеклах ту часть кальция, которая вводилась в стекло в виде кости. Оставшийся кальций попадал в стекло из третьего источника. Его количество не коррелирует с содержанием в стеклах серы, поэтому таким источником не мог быть гипс. В лабораторном журнале ученого

¹³ Андреев М.Н., Дроздов А.А., Краснобров В.Д. Комплексное исследование состава и микроструктуры исторических стекол // Вестник Моск. ун-та. Сер. Химия. 2019. Т. 60. Вып. 6. С. 435–446.

¹⁴ Cilova Z., Woitsch J. Potash — a key raw material of glass batch for Bohemian glasses from 14th–17th centuries // Journal of Archeological Science. 2012. Vol. 39. P. 371–380.

¹⁵ Kunckel J. *Ars Vitraria Experimentalis, oder Vollkommene Glasmacher-Kunst*, Frankfurt (Main), u.a., 1679.

не сохранилось записей, упоминающих использование им не только гипса, но и известняка, мела либо другого кальций-содержащего сырья. Известные нам по записке И.И. Ползунова¹⁶ составы шихты для варки стекла на Казенном заводе в Барнауле 1755 г. также не упоминают использование ни одного из этих компонентов. В то же время известняк и мел активно использовались в середине XVIII в. в центрально-европейском стеклоделии. Считается, что рецепт мелового (содержащего добавку мела) стекла был разработан богемским технологом Михаэлем Мюллером (1639–1709), работавшим управляющим на одном из крупнейших предприятий этого района — на гуте Хелмбашка (Янушек) в районе Вимперка на границе Богемии с Баварией¹⁷. В книге И. Голтвинского¹⁸ в качестве дополнительного источника кальция упоминается мел или известь. В связи с отсутствием в районе Усть-Рудицкой фабрики залежей мела, можно предположить, что этим компонентом была известь, получаемая обжигом известняка. Так как известняки Ленинградской области содержат в своем составе 5–9% MgO (местами его содержание достигает 13%)¹⁹, неудивительно, что в некоторых усть-рудицких смальтах оказывается сильно завышенное содержание магния²⁰. Вместе с известняком в шихту попадала и небольшая часть кремнезема, а также часть алюминия и железа.

Последовательно вычитая из состава смальтовых стекол содержание в них оксида свинца, поташа (доля поташа оценена по калию), фосфата кальция (его доля оценена по остаточному фосфору) и извести (оценена по оставшемуся кальцию), а также добавки (оксиды мышьяка и сурьмы) и красители, мы получаем остаток, главными компонентами которого являются оксиды кремния (основной компонент) и натрия. После отделения того количества натрия, которое попадает в шихту с поташом, мы получаем натрий, вводимый в стекло в виде еще одного, дополнительного, источника. В этом источнике отсутствует корреляция между массой натрия и серы, поэтому им не может являться сульфат натрия. Мы предполагаем, что таким ис-

¹⁶ ГААК. Ф.1. Оп.1. Д.193. Л. 61–66.

¹⁷ *Hrubý P., Hejhal P., Kašák K., Malý K., Valkony J.* The deserted baroque glassworks in the cadastral territory of Nová ves near Božejov (District of Pelhřimov) // *Studies in Post-Medieval Archaeology*. 3. 2009. P. 479–500.

¹⁸ *Голтвинский И. Я.* Наставления, основанные на опытах и долговременных наблюдениях, делать лучшим и выгоднейшим образом всякого рода стекло и хрусталь. М., 1805. С. 45.

¹⁹ Геология СССР. Т. 1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. М., 1971. С. 157.

²⁰ Повышенное содержание в стекле (образцы 25, 17) сразу двух элементов, магния и марганца, может свидетельствовать о введении в шихту в качестве красителя пьемонтской магнезии — двойного карбоната магния и марганца.

точником являлась поваренная соль, которую всыпали в горшки в ненормированном количестве для ускорения процесса варки. Известно, что хлорид натрия дает эвтектику с карбонатом натрия, что позволяет получить расплав при более низкой температуре²¹. В процессе варки хлор улетучивается в виде хлороводорода, который поглощается щелочной футеровкой печи, а ионы натрия остаются в стеклофазе. Вычитая из массы остатка весь натрий в виде оксида, мы получаем массу кварца, добавляемого в шихту.

Таким образом, на первом этапе расчетов мы выделили в составе каждой из смальт поташ, оксид свинца, кость (фосфат кальция), известь, поваренную соль (учтена в виде Na_2O в стекле) и кварцевый песок.

Если исходить из предположения, что при варке стекла использовались две фритты, то практически весь кремнезем, содержащийся в стекле, должен вводиться в составе этих фритт. Основываясь на известном составе желтой фритты, мы рассчитали предполагаемый состав белой фритты. Расчеты, проведенные по разным смальтам, дают близкие составы белой фритты: она содержала примерно одну пятую часть поташа (по массе), а остальное (67–87%, среднее 79,5%) — кварцевый песок. Полученная для всех изученных смальт зависимость суммарной массы оксидов, входивших в состав поташа от массы кварца, выражается наклонной областью, расположенной вдоль прямой линии, где точки показывают разброс реальных значений. Использование полученного среднего значения белой фритты позволило нам внести корректировки в исходный состав поташа, тем самым оптимизировав все значения. Для определения состава фритт и долей компонентов («белая фритта», «желтая фритта», «известь», «соль», «кость») мы использовали МНК, оптимизируя функционал Δ^2 :

$$\Delta^2 = \sum_{j,k} (\sum_k E_{j,k} \cdot \delta_{i,j} - S_{j,i})^2$$

где $\delta_{i,j}$ — доля компонента j в составе стекла i , $E_{j,k}$ — доля оксида k в компоненте j , $S_{j,i}$ — доля оксида k в стекле i . В составе «кости» фиксировали соотношение оксидов кальция и фосфора. Для начального приближения в качестве состава «желтой фритты» использовали состав образца 1, а в качестве начального состава «белой фритты» — состав образца (2), не содержащего свинца. Далее варьировали полный состав фритт

²¹ «Поваренная соль легко плавится, оттого она, будучи примешана к массе, делает ее жидкою при слабом жаре и тем должна содействовать скорейшей передаче тепла от стенок плавильного горшка к рыхлой нерасплавленной массе. После образования стекла, поваренная соль, как вещество более легкое, чем стекло, всплывает вверх его и может быть удалена». — Стеклозное производство / Под ред. Д.И. Менделеева. СПб., 1864. С. 45.

и содержание магния в известняке. В результате оптимизации для извести был получен следующий состав: CaO — 98,6%, MgO — 1,4%.

Результат оптимизации состава фритт без учета содержания железа, магния и марганца приведен в таблице 2.

Таблица 2

**Расчитанные средние составы желтой
и белой фритт Усть-рудницкой фабрики**

Компонент шихты	Состав, массовые %					
	SiO ₂	PbO	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	Na ₂ O
Желтая фритта	33.5	63.5	2.14	0.59	0.16	0.00
Белая фритта	82.7	0.00	16.1	0.71	0.04	0.04

Это позволило уточнить состав поташа по сравнению с богемским, который был использован при расчете *ab initio*. Усредненный состав поташа, используемого Ломоносовым, выраженный в виде комбинации оксидов, составляет: K₂O — 90,0%, CaO — 4,0%, SiO₂ — 5,6%, P₂O₅ — 0,2%, Na₂O — 0,2% (содержание MnO и Fe₂O₃ не учитывали).

Состав белой фритты (>16% K₂O, <1% CaO, >79% SiO₂) отличается от состава «белой материи», т.е. бесцветного поташного стекла, производимого на Петербургском заводе (11–15% K₂O, 8–10% CaO, 70–77% SiO₂). В белой шихте содержится гораздо меньше кальция, так как специально соединения кальция в нее не вводили²². На фазовой диаграмме бинарной системы K₂O–SiO₂ белой фритте соответствует ликвидус с температурой 1150 °С. Иными словами, в процессе варки белая фритта плавилась, хотя и сохраняла при этой температуре значительную вязкость. В отличие от нее желтая фритта — это легкоплавкое свинцово-кремнеземное стекло, которое переходит в расплав при гораздо более низкой температуре — 940 °С. Поэтому в условиях варки она имеет гораздо меньшую вязкость, что и позволяло вычерпать ее из горшка практически полностью. Действительно, на исследованном нами фрагменте горшка внутренний слой стекла на стенке имеет толщину не более 3 мм. Скорее всего, обе фритты выливали в холодную воду, при этом стекло рассыпалось на мелкие куски. Такое закаленное стекло и использовали для приготовления смальт.

Проведенное нами исследование составов показало, что технология приготовления смальтовых стекол из двух фритт, разработанная

²² Состав «белой материи» хорошо укладывается в комбинацию белой фритты и извести, что теоретически не исключает предварительного фриттования поташа с кварцем на начальной стадии производства бесцветного стекла. В этом случае белая фритта может оказаться полупродуктом при варке стекла. Однако никаких свидетельств о применении фриттования на русских заводах в XVIII в. нет.

Ломоносовым в лаборатории на Васильевском острове, была перенесена и на фабрику. Из записки ученого следует, что для лабораторных нужд фритты заказывали. Местом их производства почти наверняка можно считать Петербургский завод на Фонтанке как единственное отраслевое предприятие, расположенное в столице. Впоследствии на фабрике варку фритт осуществляли своими силами. Для создания смальт Ломоносов смешивал две фритты в разных соотношениях, добавляя к ним известь (или известняк), кость, а также специальные добавки (оксид мышьяка — «белый мышьяк» и оксид сурьмы — «антимоний») и красители. Варьируя соотношение двух фритт и немногочисленные красители, а также различные их комбинации, ученый добился получения богатой палитры стекол самой различной окраски. Как показывают проведенные нами оценочные расчеты, во многих рецептах соотношение двух фритт легко аппроксимируется в виде отношения двух целых чисел (табл. 3). Это позволяет предположить, что в основе разработанных Ломоносовым рецептов лежали простые соотношения между двумя важнейшими компонентами шихты.

Таблица 3

Массовые отношения желтой и белой фритт в стекле

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Желтая фритта	1	0	9	7	5	5	2	2	7	4	4	5
Белая фритта	0	1	2	2	2	2	1	1	4	3	3	4

Образец	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Желтая фритта	1	1	1	7	3	1	1	1	1	0	0	0
Белая фритта	1	1	1	10	5	4	12	15	18	1	1	1

Массовые доли отдельных компонентов шихты, входящих в состав стекла, приведены в таблице 4²³. Строка «добавки» включает в себя вещества, вводимые в стекло помимо основных компонентов. В первую очередь, это белый мышьяк, антимоний и красители. Наибольшее количество добавок присутствует в образце 11. Это оранжевая смальта, окрашенная медью. Согласно данным анализа, в ней присутствует 18,2% CuO, а также 0,1% Sb₂O₃, которые и вносят основной вклад в формирование этой величины.

В литературе никогда не поднимался вопрос о причинах глушения усть-рудицких смальт. Известно, что присутствие в силикатных стеклах небольшого количества фосфатов приводит к фазовому

²³ Соль NaCl представлена массовой долей оксида Na₂O в стекле, в образовании которого участвует натрий из хлорида натрия.

**Состав стекол, выраженный через массовые доли
отдельных компонентов шихты в виде оксидов**

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Соль	0.4	7.3	0.1	1.8	1.8	1.7	2.2	0.4	0.3	0.3	1.2	0.3
Кость	0.0	0.5	0.0	1.5	0.0	1.0	1.0	3.9	3.5	3.4	1.7	5.6
Желтая фритта	97	1	82	68	65	65	64	59	59	48	41	45
Белая фритта	0	81	18	20	26	28	31	29	33	37	32	38
Известь	0.0	4.2	0.3	0.9	3.1	2.1	0.9	4.2	3.1	3.8	2.0	1.1
Добавки	2.9	5.4	0.0	7.7	3.9	1.3	1.6	3.5	1.5	7.5	22.6	10.2

Образец	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Соль	1.5	2.4	3.0	0.4	3.0	2.2	5.2	0.6	3.0	0.2	1.6	1.6
Кость	2.1	4.0	0.1	2.6	1.2	0.8	0.5	0.2	0.5	9.5	13.0	9.4
Желтая фритта	47	41	46	37	29	18	7	6	5	1	1	0
Белая фритта	44	48	47	51	52	74	84	89	88	79	72	78
Известь	1.7	4.7	4.0	5.0	5.8	1.8	2.3	2.0	2.2	0.0	1.2	5.2
Добавки	4.0	0.2	0	4.0	9.2	3.2	1.0	2.9	1.3	9.9	12.0	5.8

разделению. В свинцовых составах оно усиливается при введении оксида мышьяка. При этом в объеме всего стекла образуются мелкие капли второй стеклофазы, в которой в зависимости от количества фосфата происходит кристаллизация кварца (или его полиморфных модификаций — кристобалита, тридимита — это определяется температурой²⁴) или гидроксипатита²⁵ и его мышьякового аналога, а в свинцовых составах также и арсенатов свинца²⁶. Все это приводит к тому, что стекло постепенно теряет прозрачность за счет рассеяния света на границе раздела фаз. Этот процесс «помутнения» стекла может занять несколько часов. Поэтому неудивительно, что часть стекол вырабатывали из горшков еще до потери ими прозрачности. Затем эти стекла подвергали вторичной термообработке в пристроенных к варочной печи «каленицах», где их помещали в песок.

На скорость процесса фазового разделения в стекле влияет не только температура, но и другие характеристики среды, в частности, влажность воздуха. Известно, что в присутствии паров воды стекла

²⁴ *Strnad Z., Douglas R.W.* Nucleation and crystallisation in the soda-lime-silica system // *Physics and Chemistry of Glasses*. 1973. Vol. 14. N 2. P. 33–36.

²⁵ *Commons C.H.* Past and present practice and theory of opaque glass // *American Ceramic society bulletin*. September 15, 1948. Vol. 27. N 9. P. 337–344.

²⁶ *Rooksby H.P.* Lead arsenate and lead phosphate in opal glasses // *Journal of the Soc. of Glass Technology*. 1939. Vol. XXIII. P. 76–81.

быстрее теряют прозрачность из-за возникновения ОН-центров на границе раздела фаз²⁷. При выдерживании стекол в дровяной печи, в которой камера непосредственно связана с топкой, глушение достигается быстрее, чем в современных электропечах, если в их камеру специально не вводить водяной пар. Среди изученных нами стекол есть прозрачные, которые по количеству введенного в них глушителя не отличаются от смальт. Они как раз и представляют собой полуфабрикаты, которые не успели подвергнуть вторичной термообработке в «каленицах». В результате частичного глушения получаются полупрозрачные опаловые смальты, окраска которых в тонком слое возникает за счет релеевского рассеяния (образец 13) при полном отсутствии красителей. При большем времени выдержки в «каленице» получаются смальты молочного цвета (образец 9).

Исследованный нами фрагмент второго горшка содержит прозрачное стекло 2 бледного сине-фиолетового цвета с низким содержанием свинца. Несмотря на наличие в составе небольшого количества оксида свинца, его можно рассматривать как стекло, сваренное на основе белой фритты, извести и кости и окрашенное марганцем и медью. Входящее в его состав железо происходит из «желтого песка», используемого при варке желтой фритты. Заметим, что по содержанию оксидов кальция и фосфора данный состав превосходит большинство исследованных нами смальт, но при этом он прозрачный. Это как раз и объясняется тем, что оставшееся на стенке горшка стекло не подвергали вторичной термообработке. Из близкого по составу стекла выработан сосуд, фрагмент которого исследован (образец 22). Составы, содержащие большое количество свинца, глушились еще в процессе варки в силу более низкой вязкости. Процесс фазового разделения, приводящий к потере стеклом прозрачности, определяется скоростью массопереноса, которая контролируется диффузией. Уже глушенные смальты, обнаруженные В.В. Данилевским на обломках горшков²⁸, представляют собой высокосвинцовые составы.

Среди исследованных нами смальт особняком стоит образец смальты нежно-розового цвета, окрашенной марганцем (образец 26). В отличие от других усть-рудичских стекол он содержит большое количество натрия и алюминия. Ввиду отсутствия в его составе кости, мышьяка и сурьмы, глушителем в нем может выступать только оксид алюминия. Источником натрия могла служить сода или поваренная

²⁷ Jewell J.M., Shelby J.E. The role of water content in the phase separation of soda-lime silicate glasses: the effect of heat treatment on properties // *Physics and Chemistry of Glasses*. 1991. Vol. 32. N 3. P. 81–86.

²⁸ Данилевский В.В. Ломоносов и художественное стекло. М., 1964. С. 284–288.

соль, которой в XVIII в. ее иногда заменяли. Использование сульфата натрия исключено ввиду низкого содержания серы.

Особую группу составляют оранжевые смальты (образец 11), глушеные оксидом меди (I). На микрофотографиях²⁹ четко видны дендриты куприта, имеющие форму звезд или отдельных кристаллитов, хаотически расположенных в стеклофазе. При варке этого стекла кость не использовали. Шихту составляли из двух фритт с небольшой добавкой извести. В качестве красителя использовался оксид меди, который добавляли в стекло в большом количестве. В процессе варки стекло получалось прозрачным, темно-зеленого цвета (образец 17), так как содержало медь (+2). Можно предположить, что в конце варки в тигель со стеклом добавляли уголь или древесные опилки, в результате чего медь восстанавливалась до (+1). Стекло выработывали на железный лист, при этом оно еще оставалось зеленым, но уже содержало красные прожилки, состоящие из кристаллов куприта. Чтобы превратить этот полупродукт в оранжевую смальту, необходимо ввести в его расплав древесный уголь.

При создании цветных стекол ученый использовал строго научный подход, основанный на нескольких сериях тщательно спланированных экспериментов. Полное отсутствие лабораторных записей за 1749, 1750, 1752 и последующие годы (частично сохранился лабораторный журнал Ломоносова 1751 г. и «генварской трети» 1752 г.³⁰), а также рецептурных книг Усть-рудицкой фабрики не позволяет изучить детально гигантскую работу, проделанную ученым. Мировое стеклоделие не знает других примеров, когда ученый-химик в XVIII в. системно занимается разработкой десятков новых составов стекол.

В деталях реконструировать работу ученого невозможно. Но отдельные вехи этого пути уже понятны³¹. Первые годы опыты с цветными составами Ломоносов проводил в созданной им Химической лаборатории на Васильевском острове. Варку стекла в лаборатории он осуществлял в небольших глиняных тиглях, которые после варки разбивал для извлечения стекла. Это экспериментальные плавки. В МАЭ РАН хранятся несколько стекол, которые имеют форму тигля. Их размер позволяет оценить диаметр тиглей, используемых ученым, — примерно один вершок (4,4 см). Впоследствии эти стекла, полученные

²⁹ См. прим. 13.

³⁰ ААН. Ф. 20. Оп. 1. № 5. Л. 56 об. Лабораторный журнал и лабораторные записи М.В. Ломоносова, предисловие и переводы Б.Н. Меншуткина // Ломоносов. Сборник статей и материалов / Под ред. А.И. Андреева, Л.Б. Модзалевского. М.; Л., 1940. С. 9–65.

³¹ Дроздов А.А., Андреев М.Н., Кузнецов Д.В., Петрова О.Ю. Деятельность лаборатории М.В. Ломоносова по изучению силикатных стекол // К истории лабораторий: теория, практика, учебно-образовательная деятельность. Материалы Междунар. науч. конференции, Москва, 20–21 ноября 2017 г. М., 2017. С. 89.

в ходе экспериментальных плавки, по-видимому, были перевезены на фабрику, где их и обнаружили в результате раскопок В.В. Данилевского. Интересно, что в некоторых из этих проб ученый вообще не использует кость. Стекло получается прозрачным (образцы 2, 3, 27), либо глушится за счет введения мышьяка (образец 15). Две другие пробы (образцы 8, 14) хотя и содержат в своем составе кость, лишь слегка помутнели, до конца не потеряв прозрачность.

Для окрашивания стекол Ломоносов применяет соединения железа, меди, кобальта, марганца. Набор красителей скромный, но используя их различные сочетания, он добивается множества различных цветовых оттенков. Особенно известны полученные ученым на основе соединений золота смальты розового, палевого, малинового и пурпурного цветов. В стеклоделии такие составы называют стеклом «золотой рубин»³². Для его производства ученый использовал Кассиев пурпур — частицы золота микронного размера, находящиеся на поверхности оксида олова. Олово присутствует в усть-рудицких смальтах только одновременно с золотом. Один из образцов рубиновой смальты (образец 15), являющийся продуктом экспериментальной плавки, содержит особенно много олова. Это свидетельствует о широком размахе экспериментальной работы ученого. Комбинация двух красителей, золота и железа, придает смальте красно-коричневый («мясной», по описанию Ломоносова) цвет (образец 20).

Источником меди служили не природные карбонаты (малахит, азурит), а полисульфидные руды, так как меди в смальтах сопутствует кобальт, никель, цинк, серебро, а возможно, и мышьяк, который вводили в стекло отдельно. Так, в оранжевой смальте (образец 11) на 1 г меди приходится около 2 мг цинка, 0,3 мг кобальта, 1 мг никеля, 0,3 мг серебра. Источником кобальта могли служить сульфиды или арсениды, в которых он присутствует одновременно с никелем и железом. На фоне этих двух красителей кобальт, даже присутствуя в равной с ними массовой доле, окрашивает стекло в яркий синий цвет (образцы 16, 18).

Научный подход Ломоносова к созданию смальтовых стекол, который М.А. Безбородов проиллюстрировал записями в лабораторном журнале ученого³³, мы можем дополнить сравнительным анализом некоторых усть-рудицких смальт. Известно, что медь(+2) окраши-

³² Дроздов А.А., Андреев М.Н. Стекло «золотой рубин» — история создания и анализ исторических составов // История и педагогика естествознания. 2018. № 4. С. 49–54; Дроздов А., Андреев М., Карандашев В. Золотой рубин Ломоносова // Кот Шредингера. 2017. Ноябрь–декабрь. С. 104–105.

³³ Сравнительный анализ нескольких опытов по варке рубиновых стекол приведен в кн.: Безбородов М.А. М.В. Ломоносов и его работа по химии и технологии силикатов. М.; Л., 1948. С. 120–127.

вает стекла в различные оттенки синего и зеленого цвета. Окраска стекла зависит от его состава. Так, синяя купоросная (образец 21), «купоросная с празеленью» (образец 19), бирюзовая (образец 7) и малахитовая (образец 6) смальты содержат в своем составе близкое количество (1,3 – 3,2%) CuO , который выступает в роли красителя. В то же время, окраска этих стекол заметно отличается друг от друга благодаря тому, что при разработке рецептуры ученый использовал различные соотношения белой и желтой фритт, а также извести. Чем больше в стекле содержится зеленой фритты и чем выше содержание кальция (вводимого с известью или костью), тем более зеленую окраску приобретает стекло. Смальты 7 и 4 близки по химическому составу, но значительно отличаются по содержанию красителя. Можно предположить, что ученому было известно, что концентрация меди как красителя также влияет на цвет стекла: чем больше в нем ионов Cu^{2+} , тем оно зеленее.

Можно привести и другие доказательства систематической работы Ломоносова над составами цветных стекол. За несколько лет напряженной работы в лаборатории ученый опробовал все возможные сочетания исходных компонентов. Он варьировал не только соотношение двух фритт, но и вводил разные массы других добавок, таких как известь и кость. В результате этой скрупулезной работы ученому удалось разработать рецептуру глушенных стекол самых разных цветов. Тем самым он заложил научные основы стеклоделия, намного опередив свое время. Именно поэтому научный подвиг Ломоносова так и остался подвигом ученого-одиночки. Спустя три года после его смерти Усть-рудицкая фабрика прекратила существование, а рецептура цветных смальт, по-видимому, оказалась утраченной. Попытки обучить в Химической лаборатории присланного Канцелярией от строений ученика Петра Дружинина также не принесли успеха. Работая мастером Петербургского Стекланного завода, он не смог внедрить на нем ни одного из рецептов ученого.

Усть-рудицкая рецептура, основанная на использовании двух фритт, была рецептурой лабораторной, которую трудно было перенести на более крупное, чем Усть-рудицкая фабрика, предприятие. Она была рассчитана на камерное производства смальт самых различных оттенков. Экспорт усть-рудицкой технологии не состоялся скорее по объективным, чем по субъективным причинам³⁴. Так получилось, что

³⁴ Прошедший обучение у Ломоносова Петр Дружинин оказался не тем «честным и трезвым человеком», которого хотел видеть своим учеником великий русский ученый. Сохранилась и опубликована переписка Ломоносова с Канцелярией от строений. См.: *Билярский П.С.* Материалы для биографии Ломоносова. Собраны экстраординар. акад. Билярским. СПб., 1865. С. 161–165.

интерес к цветному стеклу возобновился уже на Потемкинском заводе в конце 1770-х гг., по-видимому, через знакомство с английской рецептурой³⁵. Прямой связи между рецептами Ломоносова и рецептурой русского цветного стекла конца XVIII в не прослеживается, хотя опыт Усть-Рудицы не прошел бесследно³⁶. Навыки «составления материи», опыт использования красителей, в том числе и при создании стекла «золотой рубин», научный подход к технологическому процессу, безусловно, были заложены в Усть-Рудице. С этих позиций можно считать, что работы Ломоносова стали предтечей расцвета русского стеклоделия в 1780–1800-е гг.

References

Andreyev M.N., Drozdov A.A., Krasnobrov V.D. *Kompleksnoye issledovaniye sostava i mikrostruktury istoricheskikh stekol* [A Complex Study of the Composition and Microstructure of Historical Glass Pieces] // *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Ser. 2. *Chimiya*. 2019. Vol. 60. Is. 6, pp. 435–446.

Bezborodov M.A. *M. V. Lomonosov i yego rabota po khimii i tekhnologii silikatov* [M.V. Lomonosov and His Work on Chemistry and Technology of Silicates]. Moscow; Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR, 1948. 284 p.

Bezborodov M.A., Chekanal V.L. *Khimicheskiy sostav tsvetnykh stekol M.V. Lomonosova* [The Chemical Composition of M.V. Lomonosov's Stained Glass] // *Doklady AN SSSR*. 1953. Vol. XCI. № 3, pp. 609–611.

Bilyarskiy P.S. *Materialy dlya biografii Lomonosova* [Materials for Lomonosov's Biography] / Collected by extraordinary academician Bilyarskiy. Saint Petersburg: Tipografiya Imperatorskoy Akademii nauk, 1865. 820 p.

Danilevskiy V.V. *Lomonosov i khudozhestvennoye steklo* [Lomonosov and Art Glass]. Moscow: Nauka, 1964. 442 p.

Danilevskiy V.V., Lyalikov K.S. *Spektrofotometricheskoye i kolorimetricheskoye issledovaniye mozaichnykh stekol i drugikh tsvetnykh stekol Lomonosova* [Spectro-

³⁵ Дроздов А.А. Традиции и новаторство в производстве художественного стекла в России XVIII — первой трети XIX в. // Материалы конференции «Актуальные исследования в области декоративно-прикладного искусства, архитектуры, этнографии», 17–19 декабря 2018 г. Государственный Эрмитаж (*в печати*). Рецептура производства стекла на Потемкинском заводе восходит к Усть-Рудице и не имеет ничего общего с английской.

³⁶ Высказывалось предположение, что рецепты Ломоносова попали на завод Орловых и легли в основу производства цветного стекла на этом предприятии. Изучение составов стекол показало ошибочность этой гипотезы. В то же время мы не исключаем, что на Милятинский завод Орловых (через родственные связи с потомками Ломоносова — см.: Рачук Е.И. Милятинский завод Орловых // Газета «Пламя труда» (г. Дятьково, 1977). № 79–81) попало некоторое количество уже готовой усть-рудицкой смальты, которую использовали для декорирования некоторых изделий. Парные вазы из ГРМ (ст1652) с надписью «Хрустальной фабрики М.Ф. Орлова, 1839 г, в селе Милятине, писал Павел Волков» украшены цветной эмалью, которая по цвету и фактуре очень близка красной усть-рудицкой смальте.

photometric and Colorimetric Research of Mosaic Glass and Lomonosov's Other Colour Glass Pieces] // *Lomonosov. Sbornik statey i materialov* [Lomonosov. Collection of Articles and Materials]. Is. 5. Moscow; Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR, 1961, pp. 141–150.

Drozdov A.A., Andreyev M.N. *Steklo "zolotoy rubin" — istoriya sozdaniya i analiz istoricheskikh sostavov* ["Golden Ruby" Glass. The History of Creation and Analysis of Historical Compositions] // *Istoriya i pedagogika yestestvoznaniya*. 2018. № 4, pp. 49–54.

Geologiya SSSR [Geology of the USSR]. Vol. 1. *Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoye opisaniye* [Leningrad, Pskov and Novgorod Regions. Geological Description]. Moscow: Nedra, 1971. 503 p.

Goltvinskiy I.Ya. *Nastavleniya, osnovannyye na opytakh i dolgovremennyykh nablyudeniyyakh, delat' luchshim i vygodneyshim obrazom vsyakogo rodu steklo i khrustal'* [The Instructions, Based on Experiments and Long-Term Observations, How to Make Any Kind of Glass and Crystal in the Best and Most Profitable Way]. Moscow: Universitetskaya tipografiya, 1803. 180 p.

Laboratornyy zhurnal i laboratornyye zapisi M.V. Lomonosova [M.V. Lomonosov's Laboratory Journal and Laboratory Records] / Introd. and trans. by B.N. Menshutkin // *Lomonosov. Sbornik statey i materialov* [Lomonosov. Collection of Articles and Materials] / Ed. by A.I. Andreyev, L.B. Modzalevskiy. Moscow; Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR, 1940, pp. 9–65.

Osipov D.V. *Usad'ba Lomonosova Ust'-Ruditsa — fabrika tsvetnogo stekla* [Lomonosov's Estate of Ust'-Ruditsa, the Coloured Glass Factory]. Moscow: Serbryanyy vek, 2011. 170 p.

Sevast'yanova T.N., Kalinin Ye.O., Saprykina N.N., Kholkina Ye.A. *Analiz ognepurnyykh materialov, naydennykh na meste ust'-ruditskoy fabрики M.V. Lomonosova nerazrushayushchimi metodami analiza* [The Non-Destructive Analysis of Fire-Proof Materials Found at the Site of M.V. Lomonosov's Ust'-Ruditsa Factory] // *Vestnik SPbGU. Ser. Fizika i Khimiya*. 2017. Vol. 4 (62). Issue 3, pp. 326–336.

Sidorov N.I. *Iz istorii mozaicheskikh sostavov M.V. Lomonosova* [From the History of M.V. Lomonosov's Mosaic Compositions] // *Izvestiya AN SSSR. VII ser. Otdeleniye fiziko-matematicheskikh nauk*. 1930. Is. 7, pp. 679–706.

Steklyannoye proizvodstvo [Glass Production] / Ed. by D.I. Mendeleev. Saint Petersburg: Tovarishchestvo "Obshchestvennaya pol'za", 1864. 374 p.

Tunkina I.V. *Ust'-Ruditskaya zhalovannaya gramota M.V. Lomonosova iz fondov Sankt-Peterburgskogo filiala arkhiva RAN* [M.V. Lomonosov's Ust'-Ruditsa Grant Charter from the Funds of the Saint Petersburg Branch of the Archive of the Russian Academy of Sciences] // *Sbornik statey i materialov, posvyashchennykh 300-letiyu so dnya rozhdeniya M.V. Lomonosova* [Collection of Articles and Materials on the 300th Anniversary of M.V. Lomonosov's Birth]. Saint Petersburg: SPbNTS RAN; SPbGPU, 2011, pp. 140–174.

Поступила в редакцию
24 апреля 2019 г.