

УДК 75.03  
ББК 85.143(2)  
DOI 10.18688/aa2515-10-59

И. Ф. Кадикова, Е. В. Лаврентьева, В. Ю. Карпенко

## **Ангидрит – как наполнитель грунтов невьянских икон: происхождение и особенности идентификации**

### **Введение**

Исследования произведений невьянской иконописи XVIII–XIX вв., которые проводятся в Государственном научно-исследовательском институте реставрации (ГОСНИИР) с 2020 г.<sup>1</sup>, показали, что эти памятники обладают рядом технологических особенностей, характерных для уральского региона [6; 9]. Одной из таких особенностей является состав грунта. В качестве его основного наполнителя примерно в 85 % из числа всех изученных икон идентифицирован довольно редкий материал — безводный сульфат кальция или ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ )<sup>2</sup>, в то время как в большинстве памятников древнерусской иконописи и иконописи Нового времени обнаруживаются мел ( $\text{CaCO}_3$ ) и гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [5, с. 112].

За многие годы изучения произведений живописи и иконописи в ГОСНИИР безводный сульфат кальция был найден только в небольшом количестве памятников, при том что сам минерал в природе является весьма распространенным. Помимо невьянских икон, ангидрит в качестве наполнителя грунта был обнаружен в трех иконах пророческого ряда из собора Ферапонтова монастыря, приписываемых Дионисию [5, с. 122], в нескольких иконах конца XVII в. из Белозерска [5, с. 122], в двух поздних русских иконах из Музеев Московского Кремля [13], в иконе «Деяния Ангела Хранителя, со сценой «Зрю тя, гробе» из собрания Государственного исторического музея (последняя треть XVII в., ГИМ, инв. IVIII 31, ГК 22807146) и в раннехристианской энкаустической иконе [10, с. 24]. В составе грунта живописных произведений он тоже встречается не часто. Из известных случаев его идентификации в практике ГОСНИИР можно отметить фаюмский портрет и картину Сеньи ди Бонавентуры «Распятие» из собрания ГМИИ

<sup>1</sup> Исследование проводится с 2020 г. по н. в. в рамках НИР «Технико-технологические особенности ранней невьянской иконописи» (2020–2021 гг.), «Иконы старообрядческого горнозаводского Урала второй половины XVIII в. Определение методики исследования, атрибуция малоизученных памятников» (2022–2024 гг.) и «Старообрядческая иконопись горнозаводского Урала XIX века: технико-технологический аспект» (2025–2027 гг.).

<sup>2</sup> Стоит отметить, что ангидрит в составе грунтов невьянских икон был идентифицирован и ранее. Зав. сектором лабораторного анализа ГОСНИИР М. М. Наумова в начале 2000-х гг. обнаружила его на памятниках из собрания музея «Невьянская икона», поступивших на реставрацию в институт [7]. Кроме того, сотрудники Свердловского областного краеведческого музея им. О. Е. Клера сообщают об идентификации данного соединения в составе грунта невьянских икон XIX в. из собрания музея [4].

им. А. С. Пушкина [10, с. 25, 59–60]. Самые поздние примеры обнаружения ангидрита в составе грунта относятся к началу XX в. — это картины В. Н. Чекрыгина «Натюрморт» (1910-е гг.), где ангидрит был идентифицирован в смеси с цинковыми белилами, и Д. Д. Бурлюка «В розовом платочек» (1917 г.). Оба произведения происходят из собрания Самарского областного художественного музея.

В литературе сведения о применении ангидрита также встречаются крайне редко. Так, он был найден в составе грунта нескольких икон XVIII в., написанных в мастерских Великопоженского скита и Выга [1]. Отдельно необходимо упомянуть группу раннеитальянских картин, приписываемых флорентийской, сиенской и умбрийской школам, в грунте которых исследователи нашли смесь ангидрита с гипсом в разных соотношениях [5, с. 120–122; 14]. Кроме того, ангидрит был обнаружен в составе грунта греческих поствизантийских икон, написанных в период с середины XV по середину XIX в. [15]. Всего в рамках этой работы были проанализированы образцы грунта с 51 иконой. Во всех образцах был идентифицирован сульфат кальция. Дальнейшее исследование методом рентгеновской дифракции<sup>3</sup> позволило установить, что в грунте 17 памятников сульфат кальция присутствовал в форме ангидрита, из них в 8 иконах был зафиксирован только ангидрит, в 7 — смесь гипса и ангидрита в разных соотношениях, а в 2 — ангидрит и бассанит.

Вместе с тем, несмотря на все перечисленные случаи обнаружения ангидрита, он никогда не встречался в составе грунта больших групп русских иконописных памятников в качестве устойчивого технологического и атрибуционного признака — это характерно только для невьянских икон. Однако необходимо подчеркнуть, что это утверждение правомерно для уровня накопленных и систематизированных к настоящему моменту данных, полученных за всё время исследований иконописи в ГОСНИИР. Мы допускаем, что в будущем при условии увеличения масштаба технологических исследований памятников русской иконописи других художественных центров ангидрит будет обнаруживаться чаще.

Ангидрит мог появиться в уральских памятниках двумя путями. Наиболее вероятным объяснением может быть тот факт, что иконописцы получали его путем обжига гипса<sup>4</sup>. Прямые указания на термическую обработку гипса перед приготовлением грунта имеются во многих русских иконописных подлинниках и письменных руководствах по технике живописи. В иконописном подлиннике Никодима Сийского (последняя четверть XVII в.) читаем: «Камень левкасный доведется прожечь гораздо и истолочи велми надобно мелко (в ступе) и просеять частым решетом...» [11, т. 1, кн. 1, с. 223]<sup>5</sup>. Подобные указания содержатся в Музейном сборнике «Хождение по святым местам Василия Гогары (с прибавлениями разнообразного содержания)» (вторая половина XVII в.) [11,

<sup>3</sup> Всего этим методом были проанализированы образцы грунта с 37 икон из 51.

<sup>4</sup> При обжиге гипс постепенно теряет воду. Процесс полного обезвоживания (или дегидратации) гипса до безводного сульфата кальция происходит в несколько стадий с образованием промежуточных соединений (полуводного гипса различных модификаций) и зависит от многих параметров. Ангидрит может образовываться уже при температуре 180 °C, однако для этого требуется продолжительное время; чем выше температура обжига гипса, тем быстрее происходит полное обезвоживание гипса до ангидрита [3].

<sup>5</sup> В иконописных подлинниках гипс называют «камень левкасный», «лебастр» и др. [11, т. 2, с. 356].

т. 1, кн. 1, с. 191], в Кудрявцевском сборнике «Сила Крестная» (XVIII в.) [11, т. 1, кн. 1, с. 413], в Куницынском иконописном подлиннике (третья четверть XIX в.) [11, т. 1, кн. 2, с. 419], в «Техническом учении иконописанию» И. Сахарова (1849 г.) [11, т. 1, кн. 2, с. 430] и т. д. После такой обработки гипс становится очень хрупким и рассыпчатым, что значительно упрощает процесс его измельчения и перетирания со связующим веществом.

Также не стоит исключать вероятность того, что уральские иконописцы могли использовать природный ангидрит, в том числе и местный. Ангидрит, к примеру, известен на Левихинском медно-колчеданном месторождении близ Невьянска, в соленосных месторождениях Пермского Приуралья [12, с. 112]. В коллекции Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН имеется образец ангидрита из Дивых гор по р. Чусовой (образец 11986, систематическая коллекция, передан Матвеевым К. К. в 1913 г.). Таким образом, существует целый ряд местонахождений ангидрита, которые теоретически могли бы быть источниками этого минерала для невьянских мастеров. Однако природный ангидрит является более твердым минералом (твердость здесь и далее по шкале Мооса — 3–3,5), чем гипс (твердость 1,5–2) и мел (твердость 1), т. е. его сложнее истереть в порошок до необходимой для приготовления грунта дисперсности. Кроме того, из-за наличия посторонних примесей он может иметь голубоватый, красноватый, фиолетовый или коричневатый цвет.

Для проверки данных гипотез были изготовлены и изучены методами физико-химического анализа модельные накраски грунта из гипса и ангидрита (как природного, так и полученного в результате обжига). Дальнейшее сопоставление полученных данных с результатами анализа грунта невьянских икон позволило установить происхождение ангидрита в невьянской иконописи XVIII–XIX вв.

### **Объекты исследования**

1. Пробы грунта, отобранные со 135 невьянских икон, из которых 20 относятся к ранней невьянской иконописи (20-е — 40-е гг. XVIII в.); 60 написаны во второй половине XVIII в.; 55 икон выполнены в XIX в. Все памятники хранятся в различных музеиных собраниях<sup>6</sup>, при этом значительное число исследованных произведений является частью коллекции музея «Невьянская икона» в Екатеринбурге (МНИ). Одна икона происходит из Нижнетагильского собора Казанской иконы Божией Матери (г. Нижний Тагил).

2. Модельные накраски грунта, для изготовления которых использовали образцы гипса и ангидрита (Илл. 109). Минералы разделили на несколько частей, одну из которых обжигали в муфельной печи при температуре 400 °C, а другую — при температуре 650 °C. В обоих случаях обжиг проводился в течение 6 часов. Одну часть каждого минерала оставили необожженной и использовали в качестве стандарта. Все образцы

<sup>6</sup> Екатеринбургский музей изобразительных искусств (ЕМИИ), Свердловский областной краеведческий музей им. О. Е. Клерка (СОКМ), Нижнетагильский музей-заповедник «Горнозаводской Урал» (НТГМЗГУ), Пермская государственная художественная галерея (ПГХГ), Челябинский государственный музей изобразительных искусств (ЧГМИИ), Государственный Русский музей (ГРМ), Центральный музей древнерусской культуры и искусства имени Андрея Рублева (ЦМиАР), Приморская государственная картинная галерея (ПГКГ).

перетирали в ступке до состояния порошка, а затем смешивали с клеем<sup>7</sup> комнатной температуры в пропорции 3:1 по объему для приготовления грунта. Ангидрит, полученный искусственным путем после обжига гипса, перетирался довольно быстро, практически до состояния муки. Приготовление мелкодисперсного порошка из натурального ангидрита, как исходного, так и обожженного, требовало больших физических усилий и заняло продолжительное время. Несмотря на серо-голубой оттенок природного необожженного ангидрита<sup>8</sup>, при его истирании получался мелкодисперсный порошок белого цвета. За единичным исключением, грунты из всех образцов получились однородными по консистенции, негустыми, по плотности сравнимыми с жидким сметаной и имели белый цвет<sup>9</sup>. Полученную массу наносили металлическим шпателем на деревянную основу в несколько слоев с полной просушкой каждого слоя перед нанесением нового. Толщина слоя грунта на каждом образце в итоге составила около 1,5 мм, что соответствует толщине грунта на большинстве исследованных невьянских икон. Данная работа наглядно показала, что не только обожженный гипс, но и природный ангидрит (как обожженный, так и необожженный) можно использовать в качестве наполнителя грунта.

На каждой стадии эксперимента все образцы исследовали комплексом аналитических методов, что позволило установить точный состав исходного сырья (минералов), продуктов обжига, а также состав модельных накрасок грунта сразу после их высыпания, а через 3 и 5 месяцев после приготовления.

### Методы исследования

Исследование состава наполнителя грунта иконописных памятников<sup>10</sup> и модельных накрасок грунта проводилось комплексом физико-химических методов. На первой стадии все образцы изучали с помощью поляризационной микроскопии (поляризационный микроскоп ПОЛАМ Л-213М, ЛОМО) и сканирующей электронной микроскопии (настольный сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM4000 Plus). Элементный состав проб грунта определяли методом рентгеноспектрального микроанализа (приставка для энергодисперсионного микроанализа Quantax 75, Bruker). С помощью ин-

<sup>7</sup> Для приготовления грунтов использовался рыбий клей 8 % концентрации, сваренный из высушенных пузырей осетровых рыб. Иные добавки к клею (пластификаторы, антисептики) отсутствовали.

<sup>8</sup> Термическая обработка минерала привела к изменению его цвета: он стал более светлым, почти белым, но при этом твердость осталась прежней.

<sup>9</sup> При приготовлении грунта из природного гипса, не подвергшегося термической обработке, получилась неоднородная масса с мелкими комочками, образованными крупными кристаллами минерала (на отшлифованной поверхности такого грунта крупные кристаллы видны без увеличительной техники (Илл. 109 В. 3); при нанесении темперной краски на поверхность модельного образца кристаллы не прокрашиваются и проявляются еще больше). Действительно, даже при длительном истирании природного гипса происходит избирательное измельчение, обусловленное неодинаковой степенью спайности по разным кристаллографическим направлениям, в результате чего, наряду с тонкоизмельченным порошком, в материале остаются относительно крупные неизмельченные пластины. Для того чтобы это избежать, иконописцы предварительно обжигали минерал и после его перетирания получали более качественную и однородную грунтовочную массу. Также нужно добавить, что грунт, приготовленный на необожженном гипсе, высыпалось дальше по сравнению со всеми остальными образцами.

<sup>10</sup> Если была возможность (например, в случае плохой сохранности иконы и при наличии утрат краевого слоя до грунта), с икон отбиралось несколько проб грунта с различных участков.

фракрасной спектроскопии (ИК-микроскоп LUMOS, Bruker; съемка в режиме НПВО с Ge кристаллом) был установлен молекулярный состав образцов; для фазовой диагностики также использовался рентгеноструктурный анализ (для образцов с малым количеством вещества — порошковый фотометр с использованием камеры Дебая-Шеррера типа РКУ-86, CrKa-излучение, V-фильтр, препарат — резиновый шарик  $d = 0.15$  мм, прибор фотографирования на базе ДРОН-2; для образцов с достаточным количеством материала — дифрактометр ДРОН-3, CuKa-излучение, графитовый монохроматор, скорость съемки 1 град/мин, препарат — порошок минерала, нанесенный тонким слоем на бесфракционную пластиинку Si).

### **Результаты исследования**

Исследование образцов грунта невьянских икон XVIII–XIX вв. методами рентгеноспектрального микроанализа и ИК-микроспектроскопии показало, что в 85 % изученных памятников основным наполнителем грунта является ангидрит<sup>11</sup>, в остальных случаях был обнаружен гипс (в грунтах двух икон XIX в. был обнаружен мел). Анализ тех же образцов методами поляризационной и сканирующей электронной микроскопии позволил изучить кристаллооптические (Илл. 110Б, В; Илл. 111Б, В) свойства частиц наполнителя грунта и их морфологические особенности (Рис. 1 А, Б).

Сопоставление этих данных позволило выявить интересный факт: большинство образцов грунта икон состоят из частиц, которые имеют характерную форму столбчатого и игольчатого облика, с низкой серой интерференционной окраской в режиме скрещенных поляроидов, вне зависимости от того, гипс это или ангидрит (Илл. 110Б, В). Однако в некоторых пробах форма и свойства кристаллов отличались: они представляли собой призматические частицы и кубические выколки с прямым угасанием и более яркой интерференционной окраской в режиме скрещенных николей (Илл. 111Б, В). Такие кристаллооптические свойства наблюдались только для ангидрита<sup>12</sup>, идентифициированного в грунте икон, написанных в первой половине XVIII в.<sup>13</sup>: «Богоматерь Египетская», 1734 г. (МНИ, инв. НИ-18/7), «Богоматерь Казанская», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. 18/1), «Николай Чудотворец с избранным святым на поле», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. НИ-18/21), «Богоматерь Всех Скорбящих Радость», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. НИ-18/229), «Воскресение — Сопоставление во ад с праздниками», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. НИ-18/115) и др. Таким образом, в образцах грунта невьянских икон XVIII–XIX вв. мы регистрируем присутствие безводного сульфата кальция с разными кристаллоопти-

<sup>11</sup> В ряде случаев в составе грунта этих икон помимо ангидрита также присутствует небольшое количество гипса. Интересно, что в пробах грунта, отобранных с двух различных участков одной иконы, иногда регистрировался разный состав: в одной пробе мог быть ангидрит в чистом виде, а в другой — ангидрит с небольшим количеством гипса. Присутствие ангидрита в грунте ряда икон также было подтверждено рентгеновскими методами анализа (фотометром, требующим минимальное количество материала), в частности в иконах: «Богоматерь Египетская», 1734 г. (МНИ, инв. НИ-18/7); «Богоматерь Казанская», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. 18/1); «Царь Царем» 1789 г. (СОКМ, инв. И-313); «Избранные святые в поклонении иконе Богоматери Одигитрии» 1780-е гг. (НТМЗГУ, инв. НВ 15258).

<sup>12</sup> Для частиц гипса такие кристаллооптические свойства не наблюдалось.

<sup>13</sup> В более поздних иконах частицы с подобными кристаллооптическими свойствами мы фиксировали лишь в редких случаях и только в качестве примеси.

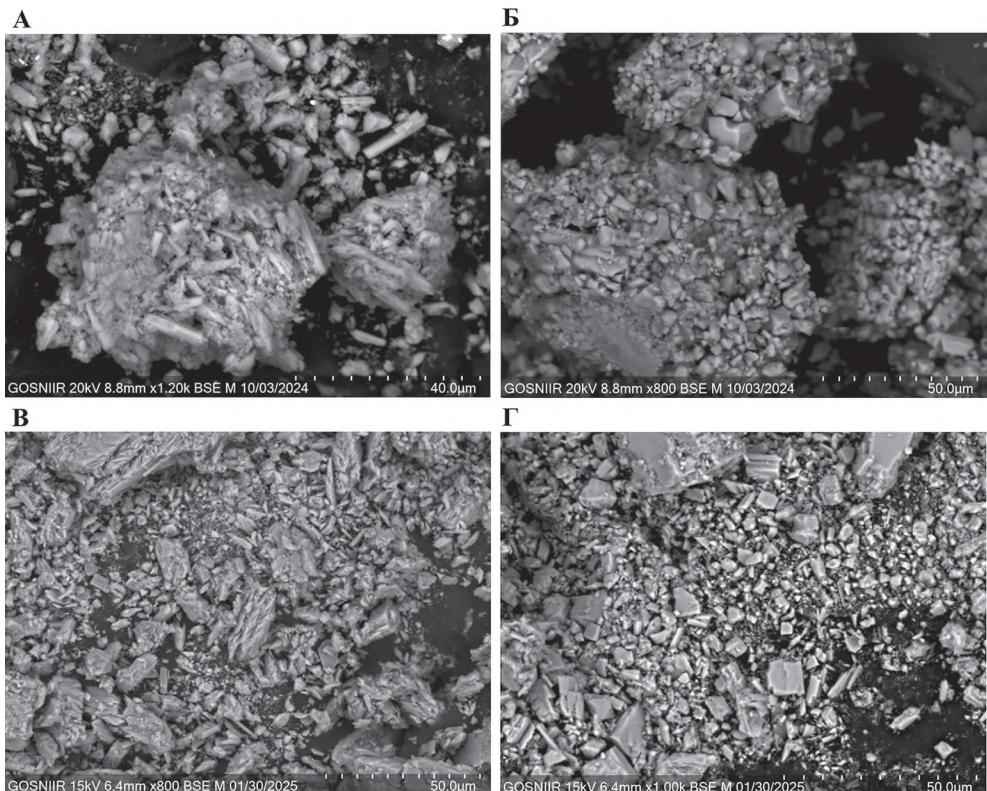


Рис. 1. СЭМ-изображения образцов грунта икон, в составе которых были идентифицированы частицы ангидрита с различными морфологическими свойствами: (А) плоские столбчатые и игольчатые частицы в составе грунта иконы «Богоматерь Казанская», 1800 г. (Приморская государственная картинная галерея, инв. Ж-334); (Б) призматические частицы в составе грунта иконы «Богоматерь Казанская», 20-30 гг. XVIII в. (МНИ, инв. НИ-18/1); СЭМ-изображения образцов модельных накрасок грунта из ангидрита, полученного в результате обжига гипса при температуре 400 °C (В) и природного ангидрита, обожженного при температуре 400 °C (Г)

ческими и морфологическими признаками. Это указывает на то, что иконописцы могли использовать несколько видов сырья для приготовления грунта.

Следующей стадией данной работы стало изучение кристаллооптических и морфологических свойств образцов природных и термически обработанных гипса и ангидрита, а также анализ фазового состава приготовленных из них модельных накрасок грунта. Список изученных образцов приведен в Таблице 1. Отметим следующие результаты, которые подтверждают выдвинутое выше предположение о разных видах сырья:

1) Кристаллооптические свойства природного ангидрита<sup>14</sup> (форма кристаллов, характер погасания, интерференционная окраска в скрещенных поляроидах) соответ-

<sup>14</sup> Аналогичные свойства наблюдаются и у природного ангидрита, прошедшего термическую обработку.

ствуют свойствам ангидрита, идентифицированного в ряде икон первой половины XVIII в. (Илл. 111).

2) Для частиц ангидрита, полученного нами в ходе термической обработки природного гипса (Илл. 110Г, Д), а также ангидрита (Илл. 110Б, В) и гипса, обнаруженных во всех иконах второй половины XVIII–XIX вв. и в нескольких памятниках первой половины XVIII в., наблюдаются идентичные кристаллооптические свойства.

Выявленные закономерности позволяют сделать вывод, что в период становления невьянской иконописи мастера использовали как природный ангидрит, так и его аналог, полученный в ходе обжига природного гипса. Во второй половине XVIII–XIX вв. иконописцы готовили грунт из гипса, полученного по традиционной технологии путем обжига, а природный ангидрит вышел из употребления. Это может быть связано с тем, что с более твердым минералом работать было сложнее и требовало больше усилий и времени.

**Таблица. Результаты исследования продуктов обжига гипса и ангидрита, а также модельных образцов грунта, изготовленных из этих материалов**

№ эксперимента	Исследованный образец	Температура обжига, °C	Фазовый состав образца (рентгеновская идентификация)
1	Гипс (минерал)	150	Бассанит ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ )
2	Гипс (минерал)	400	Ангидрит
3	Гипс (минерал)	650	Ангидрит
4	Модельная накраска грунта, приготовленная из обожженного гипса	150	Бассанит ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ )
5	Модельная накраска грунта, приготовленная из обожженного гипса	400	Ангидрит — 90 % Гипс — 10 %
6	Модельная накраска грунта, приготовленная из обожженного гипса	650	Ангидрит
7	Ангидрит (минерал)	400	Ангидрит
8	Ангидрит (минерал)	650	Ангидрит
9	Модельная накраска грунта, приготовленная из обожженного ангидрита	400	Ангидрит
10	Модельная накраска грунта, приготовленная из обожженного ангидрита	650	Ангидрит

Тем не менее, встает вопрос о том, почему мы наблюдаем разницу в составе грунтов невьянских икон и икон из большинства других регионов России, исследованных в ГОСНИИР несмотря на то, что они были приготовлены по одной методике, которая предполагает использование в качестве наполнителя обожженного гипса. Другими словами, почему в первом случае обезвоженный гипс остается стабильным, а во втором

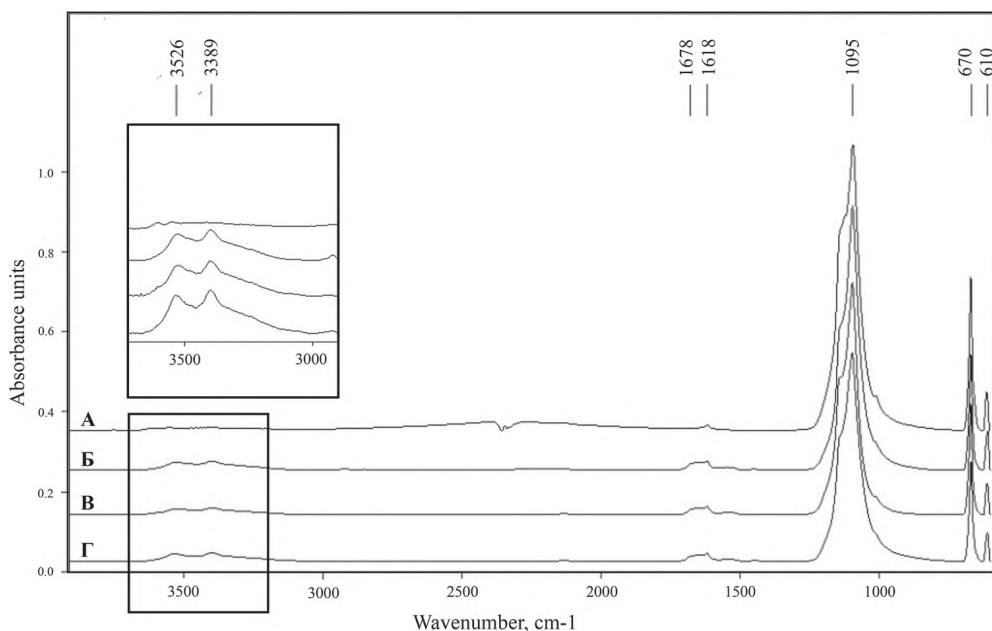


Рис. 2. ИК-спектры образцов модельной накраски грунта из гипса, пережженного при температуре 400 °С: (А, Б) сразу после приготовления накраски, (В) через 3 месяца и (Г) через 5 месяцев. Полосы поглощения 1095, 670 и 610  $\text{cm}^{-1}$  относятся к ангидриту; о присутствии небольшого количества гипса свидетельствуют слабые полосы поглощения 3526, 3389, 1678 и 1618  $\text{cm}^{-1}$

случае — происходит гидратация (присоединение молекул воды), и мы регистрируем в качестве наполнителя  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Ответить на этот вопрос нам помогло изучение модельных накрасок грунта (Илл. 110В) методом ИК-спектроскопии, которое мы проводили сразу после их приготовления, через три и пять месяцев. Сравнивая спектры, снятые в разное время, мы заметили некоторые закономерности.

1) В составе модельного образца грунта, приготовленного из пережженного при температуре 400 °С гипса, в качестве основного компонента идентифицирован ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) с небольшим количеством гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и полуводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ); исследование модельного образца грунта через три и пять месяцев показало присутствие в составе грунта ангидрита и небольшого количества гипса (Рис. 2). Это свидетельствует о том, что с течением времени сульфат кальция постепенно присоединяет молекулы воды, т. е. мы фиксируем медленный процесс его гидратации. Это, в том числе, подтверждает исследование образцов прокаленного при температуре 400 °С гипса и приготовленного из него левкаса методом рентгеновской порошковой дифрактометрии, который показал, что грунт на 90 % состоит из ангидрита и на 10 % — из гипса, при этом в составе исходного образца пережженного гипса обнаружен только ангидрит

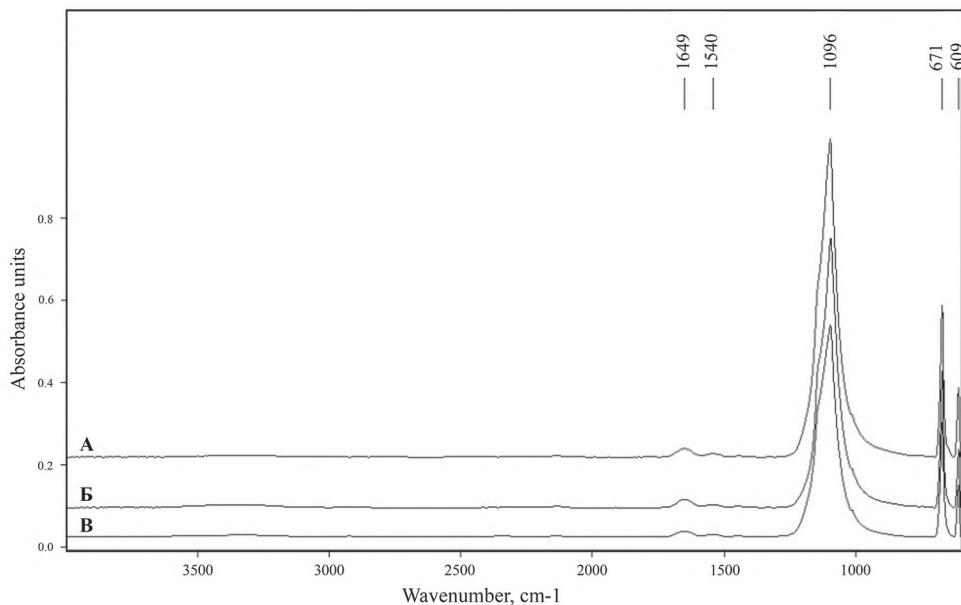


Рис. 3. ИК-спектры образцов модельной накраски грунта из гипса, пережженного при температуре 650 °С: (А) сразу после приготовления модельной накраски, (Б) через 3 месяца и (В) через 5 месяцев. Полосы поглощения 1096, 671 и 609 см<sup>-1</sup> относятся к ангидриту; полосы поглощения 1649 и 1540 см<sup>-1</sup> обусловлены присутствием связующего вещества на основе белка животного происхождения

(см. Таблицу). В дальнейшем планируется контролировать этот процесс и фиксировать изменения в составе грунта со временем.

2) В составе модельного образца грунта, приготовленного из пережженного при температуре 650 °С гипса<sup>15</sup>, в качестве основного компонента идентифицирован только ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ); исследование образцов модельного грунта через три и пять месяцев не зарегистрировало появление гипса (Рис. 3). Присутствие в данных образцах одной минеральной фазы также было подтверждено методом рентгеновской порошковой дифрактометрии (см. Таблицу 1). Таким образом, за прошедшие пять месяцев мы не фиксируем процесс гидратации сульфата кальция в модельной накраске из гипса, обожженного при 650 °С.

3) В составе модельного образца грунта, приготовленного из природного ангидрита, как и в самом образце минерала, который использовался для грунта, присутствует гипс. Это связано с тем, что в природных условиях минерал ангидрит подвергается гидратации и присоединяет молекулы воды<sup>16</sup>, таким образом на его поверхности образуется гипс.

<sup>15</sup> В ИК-спектре порошка гипса, пережженного при температуре 650 °С, зарегистрированы только полосы поглощения ангидрита ( $\text{CaSO}_4$ ).

<sup>16</sup> Это сопровождается увеличением объема минерала.

4) В модельных накрасках, приготовленных из прокаленного природного ангидрита<sup>17</sup>, не зафиксированы продукты гидратации сульфата кальция. Не обнаружены такие продукты и в составе грунта икон первой половины XVIII в., для которых иконописцы в качестве наполнителя использовали природный ангидрит, что может свидетельствовать о том, что мастера предварительно подвергали исходное сырье термической обработке.

По-видимому, именно с различными режимами обжига гипса, использовавшегося в качестве исходного сырья, может быть связано то, что в составе грунта икон уральских мастеров второй половины XVIII — XIX вв. мы идентифицируем наполнитель в форме ангидрита, а в большинстве икон из других регионов — в форме гидратированного сульфата кальция. Так, эксперименты 1 и 4 (см. Таблицу 1) показали, что при небольшой температуре обжига образуются фазы  $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot0.67\text{H}_2\text{O}$ , порошкограммы которых фактически идентичны бассаниту ( $\text{CaSO}_4\cdot0.5\text{H}_2\text{O}$ ) [2]. Невьянские иконописцы, вероятно, имели возможность обжигать исходное сырье при более высоких температурах, что приводило к его полному обезвоживанию с образованием стабильной структуры ангидрита, который не набирает воду<sup>18</sup>. Столь совершенный обжиг гипса на территории горнозаводского Урала, например, мог быть обусловлен наличием достаточно технологичных на то время заводских печей, разогревавшихся до очень высоких температур, кратко превышающих температуру обычной домовой духовой печи ( $200^\circ\text{C}$ ) [8, с. 77–83]. Однако данный вопрос требует отдельного исторического анализа.

### Заключение

Изучение 135 икон невьянских мастеров XVIII–XIX в. показало, что в большинстве случаев они использовали для грунтовки ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) — материал, который крайне встречается в составе грунта произведений иконописи и живописи. Чаще всего иконописцы применяли ангидрит, полученный в ходе обжига гипса ( $\text{CaSO}_4\cdot2\text{H}_2\text{O}$ ). Причем тот факт, что ангидрит не подвергся гидратации за время бытования иконы или в процессе смешивания с водным раствором клея свидетельствует о том, что термическая обработка гипса проходила при высоких температурах (более  $600^\circ\text{C}$ ). В ранних памятниках 1720–1740-х гг. был идентифицирован природный ангидрит, вероятно, также подвергшийся термической обработке. Этот вывод был сделан благодаря различию кристаллооптических свойств частиц природного ангидрита и его аналога, полученного в результате термической обработки гипса. Среди 20 изученных памятников первой половины XVIII в. грунты из природного ангидрита были обнаружены в 11 иконах; в иконах второй половины XVIII — XIX в. сульфат кальция с подобными кристаллооптическими свойствами встречается крайне редко (и только в виде незначительной примеси). Таким образом, форма и кристаллооптические свойства частиц ангидрита (которые не меняются при термической обработке) в определенной степени могут служить временным маркером, указывая на самый ранний период создания невьянских икон.

<sup>17</sup> В составе образцов ангидрита, обожженных при температуре 400 и  $650^\circ\text{C}$ , идентифицирован только безводный сульфат кальция.

<sup>18</sup> Стабильный ангидрит образуется при температуре  $600^\circ\text{C}$  и выше.

### **Благодарности**

Авторы благодарят за помощь в дифрактометрической съемке С. Махмадшарифа (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе).

## **Литература**

1. Астахова И. С., Плаксина Н. Е. Минеральный состав красок икон Нижней Печоры // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. — 2016. — № 4. — С. 29–33. — DOI: 10.19110/2221-1381-2016-4-29-33.
2. Бушуев Н. Н., Борисов В. М. Рентгенографическое исследование  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.67\text{H}_2\text{O}$  // Журнал неорганической химии. — 1982. — Т. 27. — Вып. 3. — С. 604–609.
3. Бушуев Н. Н., Масленников Б. Н., Борисов В. М. Фазовые переходы при дегидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  // Журнал неорганической химии. — 1983. — Т. 28. — Вып. 10. — С. 2469–2476.
4. Гордиенко Т. А. Технико-технологические исследования грунтов и полимента Невьянских икон 1-ой четверти 60-х годов XIX века // Декабристские диалоги: материалы Всероссийской научной конференции памяти Ф. В. Мелёхина, 19–21 декабря 2005 г. / Омский областной музей изобразительных искусств; под ред. А. Н. Гуменюка. — Омск, 2006. — С. 116–119.
5. Гренберг Ю. И. Технология станковой живописи. История и исследование: Учебное пособие. — СПб.: Лань, Планета Музыки, 2019. — 336 с.
6. Кадикова И. Ф., Лаврентьева Е. В. Химический состав красок и грунтов как важный аспект атрибуции поздней русской иконописи Уральского региона // Актуальные проблемы теории и истории искусства: сб. науч. статей. Вып. 13 / Под ред. А. В. Захаровой, С. В. Мальцевой, Е. Ю. Станюкович-Денисовой. — МГУ имени М. В. Ломоносова / СПб.: НП-Принт, 2023. — С. 767–780. — DOI 10.18688/aa2313-9-61.
7. Красилин М. М., Наумова М. М., Данченко Е. А. Об одной группе невьянских икон // Искусство Христианского Мира. — 2007. — Вып. 10. — С. 404–416.
8. Курлаев Е. А., Корепанов Н. С., Побережников И. В. Технико-технологические инновации в горно-металлургическом производстве Урала в XVII–XVIII вв. — Екатеринбург: Банк культурной информ., 2011. — 204 с.
9. Лаврентьева Е. В., Кадикова И. Ф., Карпенко В. Ю. Новые данные об оранжевых минеральных пигментах в произведениях невьянской школы иконописи // Secreta Artis. — 2023. Вып. 6 (2). — С. 22–49. — DOI 10.51236/2618-7140-2023-6-2-22-49.
10. Наумова М. М. Поздняя Античность. Средневековье. Возрождение. — М.: Индрик, 2018. — 432 с.
11. Свод письменных источников по технике древнерусской живописи, книжного дела и художественного ремесла в списках XV–XIX вв.: в 2 т. / Сост., вступ. ст. и примеч. Гренberга Ю. И. — СПб: Пушкинский фонд, 1995–1998.
12. Юшкин Н. П., Иванов О. К., Попов В. А. Введение в топоминералогию Урала. — М.: Недра, 1986. — 294 с.
13. Яковлева А. И., Наумова М. М. Пигменты и грунты икон XVIII — XIX веков из собрания Музея «Московский Кремль» и значение их исследования для атрибуции / Проблемы реставрации музеиных памятников / отв. ред. А. И. Яковлева. — М., 2001. — С. 37–40.
14. Gettens R. J., Mrose M. E. Calcium Sulphate Minerals in the Grounds of Italian Paintings // Studies in Conservation. — 1954. — No. 1(4). — P. 174–189.
15. Mastrotheodoros G. P., Beltsios K. G., Bassiakos Y., Papadppoulou V. On the Grounds of Post-Byzantine Greek Ikons // Archaeometry. — 2016. — Vol. 58 (5). — P. 830–847.

**Название статьи.** Ангидрит — как наполнитель грунтов невьянских икон: происхождение и особенности идентификации

**Сведения об авторах.** Кадикова, Ирина Фанисовна — Государственный научно-исследовательский институт реставрации, ул. Гастелло, 44/1, Москва, Российская Федерация, 107014; kadikovaif@gosniiр.ru; SPIN-код: 4739-8030; ORCID: 0000-0002-7271-0752; Scopus ID: 57190185836

Лаврентьева, Елена Валерьевна — кандидат искусствоведения, старший научный сотрудник. Государственный научно-исследовательский институт реставрации, ул. Гастелло, 44/1, Москва, Российская Федерация, 107014; Lavrentyeva\_Elena@mail.ru; SPIN-код: 4495-3582; ORCID: 0000-0003-3486-4862; Scopus ID: 58803419500

Карпенко, Владимир Юрьевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, Ленинский проспект, 18, Москва, Российская Федерация, 119071; mineralab@mail.ru; SPIN-код: 6561-3870; Scopus ID: 15845884600

**Аннотация.** В процессе исследования 135 невьянских икон XVIII–XIX вв. авторами было установлено, что основным компонентом грунта более 85 % памятников является ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ). За многие годы исследований ГОСНИИР этот минерал был идентифицирован в грунтах только нескольких произведений, в то время как типичными наполнителями грунта в русской иконописи являются мел ( $\text{CaCO}_3$ ) и гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Анализируя полученный результат, мы пришли к выводу, что ангидрит мог появиться в невьянской иконописи двумя путями. (1) Иконописцы могли использовать природный минерал, поскольку на Урале известны его месторождения. (2) Иконописцы могли обезвоживать гипс путем обжига (ангидрит образуется при температуре обжига 400–700 °C). Эта гипотеза основана на том, что во многих русских подлинниках XVII–XIX вв. есть указания на то, что гипс перед приготовлением грунта стоит сильно пережечь. Для определения происхождения ангидрита в невьянских иконах были приготовлены модельные накраски грунта из гипса и ангидрита, как необработанных, так и термически обработанных (при 400 и 650 °C). Все образцы минералов до и после обжига, а также модельные накраски, исследовались комплексом аналитических методов, что позволило определить их точный химический состав. Важной частью эксперимента стало изучение кристаллооптических свойств этих минералов, что позволило выявить характерные признаки, на основании которых можно делать предположения о происхождении наполнителя грунта в невьянских иконах.

**Ключевые слова:** уральская икона, экспертиза иконописи, поздняя русская иконопись, наполнитель грунта, ангидрит, гипс

**Title.** Anhydrite as a Filler for the Primers of Nev'yansk Icons: its Origin and Peculiarities of Identification

**Authors.** Kadikova, Irina F. — The State Research Institute for Restoration, Gastello ul., 44/1, 107114 Moscow, Russian Federation; kadikovaif@gosniir.ru; SPIN-code: 4739-8030; ORCID: 0000-0002-7271-0752; Scopus ID: 57190185836

Lavrentyeva, Elena V. — Ph. D., senior researcher. The State Research Institute for Restoration, Gastello ul., 44/1, 107114 Moscow, Russian Federation; Lavrentyeva\_Elena@mail.ru; SPIN-code: 4495-3582; ORCID: 0000-0003-3486-4862; Scopus ID: 58803419500

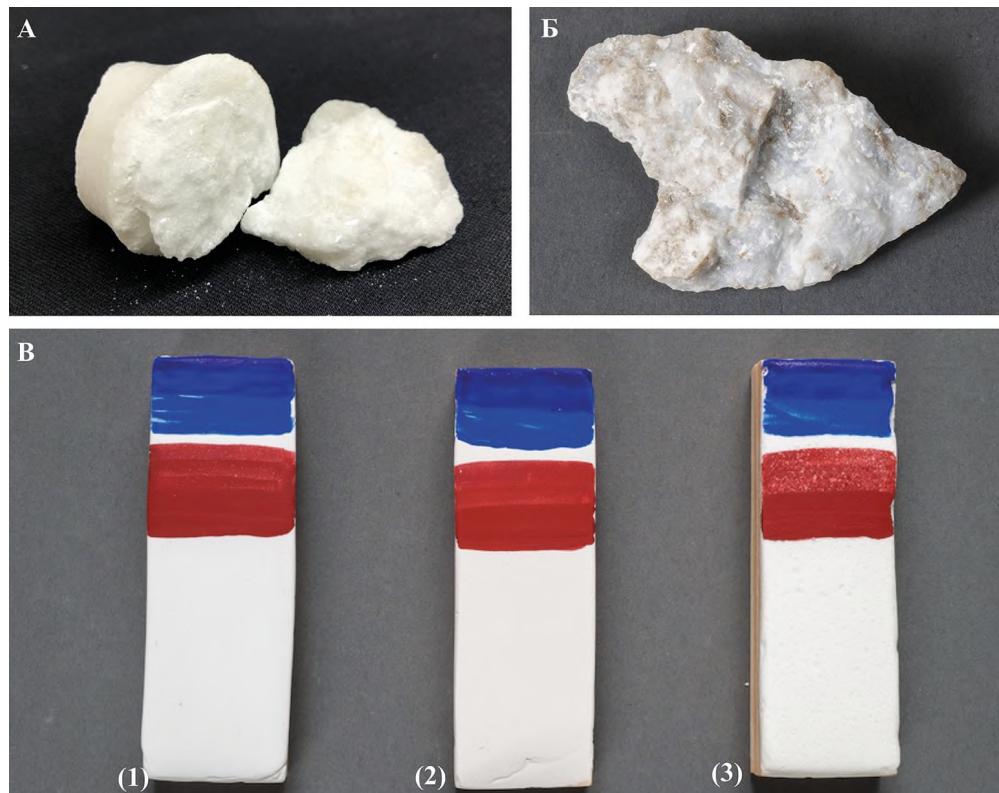
Karpenko, Vladimir Yu. — Ph. D., senior researcher. A. E. Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Leninskii pr., 18, 119071 Moscow, Russian Federation; mineralab@mail.ru. SPIN-code: 6561-3870; Scopus ID: 15845884600

**Abstract.** In the course of the study of a selection of 135 Nevyan (Ural) icons of the 18<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> centuries, the authors found that the main component of the ground in over 85 % of the artworks is anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ). Over many years of research by GOSNIIR, this mineral was identified in the primers of only a few works, while typical ground fillers used in Russian icon-painting are chalk ( $\text{CaCO}_3$ ) and gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Analysing the obtained result we came to the conclusion that the presence of anhydrite in Nevyan icon painting can be explained as follows. Firstly, the icon painters could use a natural mineral, the deposits of which are known in the Urals. Secondly, the icon painters could dehydrate gypsum by calcining it (anhydrite is formed at a calcining temperature of 400–700 °C). This hypothesis is based on the fact that in many 17<sup>th</sup>–19<sup>th</sup>-centuries Russian manuals for icon-painting, there are instructions recommending that gypsum should be strongly calcined before preparing the ground. In order to determine the origin of anhydrite in Nevyan icons, we prepared model mock-ups of ground made of gypsum and anhydrite, both untreated and heat-treated (at 400 and 650 °C). All samples of minerals before and after calcination, as well as model mock-ups, were investigated by a complex of analytical methods, which made it possible to determine their exact chemical composition. An important part of the experiment involved the study of optic properties of the minerals' crystals. It allowed us to reveal specific features that enabled us to make assumptions about the origin of the ground filler in the Nevyan icons.

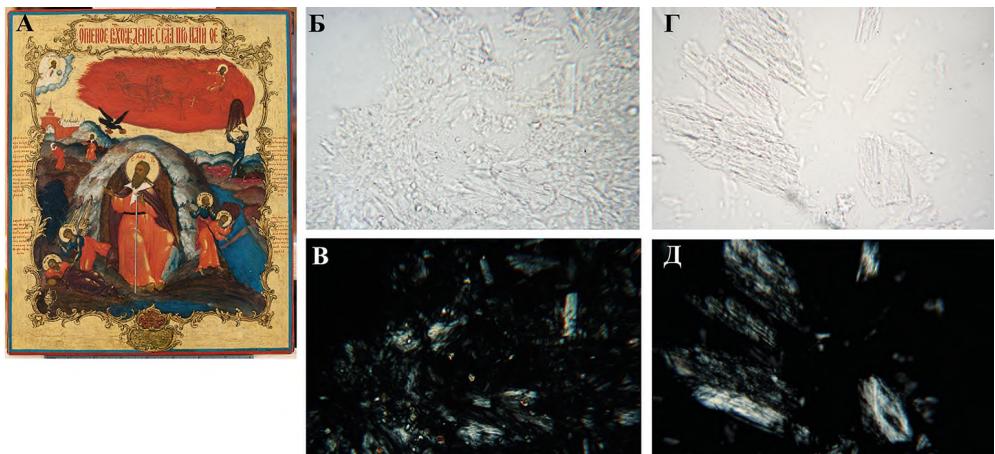
**Keywords:** Ural icon, expertise of icon painting, late Russian icon painting, primer filler, anhydrite, gypsum

## References

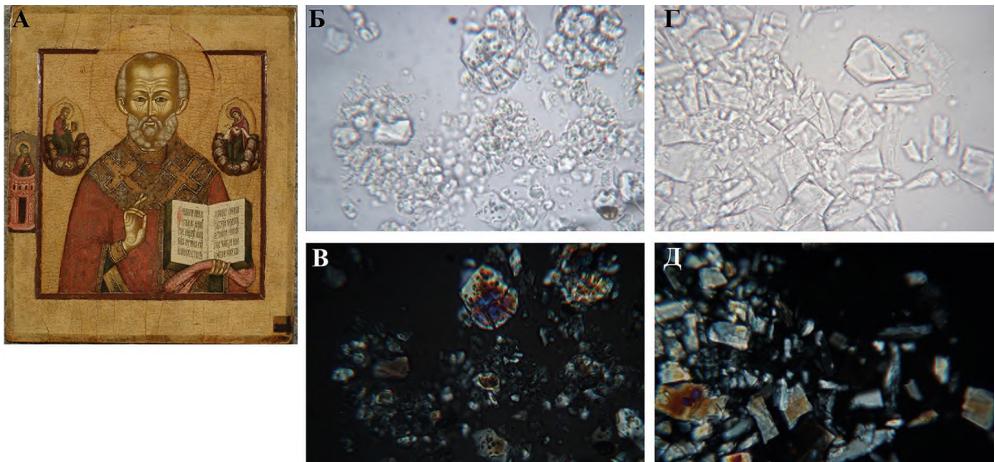
- Astakhova I.S.; Plaksina N.E. Mineral Composition of Paints of Icons from the Lower Pechora River. *Vestnik Instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk (Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)*, 2016, no. 4, pp. 29–33 DOI 10.19110/2221-1381-2016-4-29-33 (in Russian).
- Bushuev N.N.; Borisov V.M. X-ray diffraction study of  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.67\text{H}_2\text{O}$ . *Zhurnal neorganicheskoi khimii (Journal of Inorganic Chemistry)*, 1982, vol. 27, no. 3, pp. 604–609. (in Russian).
- Bushuev N.N.; Maslennikov B.N.; Borisov V.M. Phase Transitions at Dehydration  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Zhurnal neorganicheskoi khimii (Journal of Inorganic Chemistry)*, 1983, vol. 28, no. 10, pp. 2469–2476 (in Russian).
- Gettens R.J.; Mrose M.E. Calcium Sulphate Minerals in the Grounds of Italian Paintings. *Studies in Conservation*, 1954, no. 1(4), pp. 174–189.
- Godovikov A.A. *Mineralogija (Mineralogy)*. Moscow, Nedra Publ., 1983. 647 p. (in Russian).
- Gordienko T.A. Technological Research of Prime and Poliment of Nevyansk Icons of the First Quarter of the 60s of the 19<sup>th</sup> Century. *Dekabr'skie dialogi: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii pamiati F.V. Melekhina, 19–21 dekabria 2005 (December Dialogues: Materials of the All-Russian Scientific Conference in Memory of F.V. Melekhin, December 19–21, 2005, Omsk Regional Museum of Fine Arts)*. Omsk, 2006, pp. 116–119 (in Russian).
- Grenberg Iu. I. (comp.). *Svod pis'mennykh istochnikov po tekhnike drevnerusskoi zhivopisi, knizhnogo dela i khudozhestvennogo remesla v spiskakh XV–XIX vv. (A Corpus of the 15<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> centuries Written Sources on the Technique of Old Russian Painting, Bookmaking and Artistic Craft: in 2 vols.)*. St. Petersburg, Pushkinskii fond Publ., 1995–1998.
- Grenberg Iu. I. *Tekhnologija stankovoi zhivopisi. Istoriia i issledovanie: Uchebnoe posobie (The Technology of Easel Painting. History and Research: Textbook)*. St. Petersburg, Lan' Publ., Planeta Muzyki Publ., 2019. 336 p. (in Russian).
- Iakovleva A.I.; Naumova M.M. Pigments and Primers of Icons of the 18<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> Centuries from the Collection of the Moscow Kremlin Museum and the Significance of Their Research for Attribution. *Problemy restavratsii muzeinykh pamiatnikov (Problems of Restoration of Museum Artworks)*. Moscow, 2001, pp. 37–40 (in Russian).
- Iushkin N.P.; Ivanov O.K.; Popov V.A. *Vvedenie v topomineralogiju Urala (Introduction to topomineralogy of the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1986. 295 p. (in Russian).
- Kadikova I.F.; Lavrentyeva E.V. Chemical Composition of Paints and Primers as an Important Aspect of Attribution of Late Russian Icon Painting of the Ural Region. Zakharova A.V.; Maltseva S.V.; Staniukovich-Denisova E.Iu. (eds). *Actual Problems of Theory and History of Art: Collection of articles*, vol. 13. Lomonosov Moscow State University; St. Petersburg, NP-Print Publ., 2023, pp. 767–780 DOI 10.18688/aa2313-9-61 (in Russian).
- Krasilin M.M.; Naumova M.M.; Danchenko E.A. About One Group of Nevyansk Icons. *Iskusstvo Khristianskogo Mira (Art of the Christian World)*, 2007, vol. 10, pp. 404–416 (in Russian).
- Kurlaev E.A.; Korepanov N.S.; Poberezhnikov I.V. *Tekhniko-tehnologicheskie innovatsii v gorno-metallurgicheskem proizvodstve Urala v XVII–XVIII vv. (Technical and Technological Innovations in Mining and Metallurgical Production in the Urals in the 17<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> Centuries)*. Ekaterinburg, Bank kul'turnoi informatsii Publ., 2011. 204 p. (in Russian).
- Lavrentyeva E.V.; Kadikova I.F.; Karpenko V.Iu. New Data on Orange Mineral Pigments in the Icons of the Nevyansk School. *Secreta Artis*, 2023, vol. 6 (2), pp. 22–49 DOI 10.51236/2618-7140-2023-6-2-22-49 (in Russian).
- Mastrotheodoros G.P.; Beltsios K.G.; Bassiakos Y.; Papadppoulou V. On the Grounds of Post-Byzantine Greek Ikons. *Archaeometry*. 2016, vol. 58 (5), pp. 830–847.
- Naumova M.M. *Pozdniaia Antichnost'. Srednevekov'e. Vozrozhdenie (Late Antiquity, Middle Ages, Renaissance)*. Moscow, Indrik Publ., 2018. 432 p. (in Russian).



Илл. 109. Образцы природного гипса (А) и ангидрита (Б) до термической обработки. (В) Модельные накраски грунта, приготовленные из: (1) природного ангидрита, не подвергшегося термической обработке, (2) гипса, обожженного при температуре 400 °С и (3) природного гипса, не подвергшегося термической обработке



Илл. 110. (А) Икона «Огненное восхождение пророка Илии», 1821 г., Ефим Павлович Большаков (МНИ, инв. НИ-19/52). Микрофотографии образцов грунта иконы (Б, В) и природного гипса, обожженного при температуре 400 °С (Г, Д) в проходящем поляризованном свете (Б, Г) и в режиме скрещенных поляроидов (В, Д). На микрофотографиях хорошо видно, что кристаллооптические свойства частиц ангидрита в составе грунта иконы и частиц пережженного гипса сходны



Илл. 111. (А) Икона «Николай Чудотворец с избранным святым на поле», 20–30-е гг. XVIII в. (МНИ, инв. НИ-18/21). Микрофотографии образцов грунта иконы (Б, В) и природного ангидрита, обожженного при температуре 650 °С (Г, Д) в проходящем поляризованном свете (Б, Г) и в режиме скрещенных поляроидов (В, Д). На микрофотографиях хорошо видно, что кристаллооптические свойства частиц ангидрита в составе грунта иконы сходны со свойствами природного ангидрита