

Российская Академия Наук  
Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБУН Институт проблем машиноведения РАН  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
Университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого  
При поддержке: ООО «Мономакс»

---

## **ПЛЕНКИ И ПОКРЫТИЯ – 2021**

*ТРУДЫ 15-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ*

18 мая – 20 мая 2021

Санкт - Петербург

2021

Пленки и покрытия-2021: Труды 15-й Международной конференции. 18 мая – 20 мая 2021 г. Под редакцией д-ра техн. наук В.Г. Кузнецова. – СПб: Изд-во ООО "РПК "АМИГО-ПРИНТ", 2021. – 436 с.

Труды составлены по материалам докладов, представленных на 15-ю Международную конференцию «Пленки и покрытия – 2021». В материалах докладов изложены новые результаты теоретических и экспериментальных исследований в области физики и механики конденсированных сред, формирования пленок и покрытий плазменными и смежными методами, полученными за последние два года, прошедшие после проведения предыдущей конференции. Особое внимание уделено изучению свойств покрытий и методам их исследований, новым материалам покрытий и новым областям их использования, наноматериалам и нанотехнологиям, физике и механике плазмы, взаимодействию плазмы с поверхностью твердого тела, разработке современного оборудования и технологических процессов, а также вопросам, связанным с управлением, автоматизацией и роботизацией. Намечены пути развития новых методов получения пленок и покрытий.

Труды представляют интерес для специалистов, занимающихся научными исследованиями, разработкой технологических процессов, связанных с получением пленок и покрытий, вопросов упрочнения, восстановления деталей и коррозионной защиты, изучением свойств покрытий и других применений.

#### **Организационный комитет**

Кузнецов В.Г. (ИПМаш РАН) – д.т.н., председатель  
Григорьев Л.В. (Университет ИТМО) – к.т.н., сопредседатель  
Гильманова А.Т. (ООО «Мономакс»)  
Кострин Д.К. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») – к.т.н.  
Михайлов А.В. (АО НПО ГОИ им. С.И. Вавилова) – к.т.н.  
Фролов В.Я. (СПбПУ) – проф., д.т.н.

#### **Программный комитет**

Кузнецов В.Г. (ИПМаш РАН) – зав. лаб., д.т.н., председатель  
Глухих В.А. – академик РАН  
Григорьев Л.В. (Университет ИТМО) – к.т.н., сопредседатель  
Григорьев С.Н. (МГТУ «СТАНКИН») – проф., д.т.н.  
Коваль Н.Н. (ИСЭ СО РАН) – д.т.н.  
Кудинов В.В. (ИМЕТ) – проф., д.т.н.  
Кузьмичев А.И. (НТУУ «КПИ», Украина) – проф., д.т.н.  
Лозован А.А. (МАИ) – проф., д.т.н.  
Лясников В.Н. (СГТУ) – проф., д.т.н.  
Погребняк А.Д. (СГУ, Украина) – проф., д.т.н.  
Потрахов Н.Н. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») – проф., д.т.н.  
Руденская Н.А. (БНТУ, Беларусь) – в.н.с., д.т.н.  
Сергеев В.П. (ИФПМ СО РАН) – д.т.н.  
Шаповалов В.И. (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ») – проф., д.т.н.  
Якупов Н.М. (ИММ КазНЦ РАН) – проф., д.т.н.

Ответственность за достоверность сведений и хранение государственной или корпоративной тайны несут авторы публикаций.

ISBN 978-5-6045715-1-4



9 785604 571514

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения РАН, 2021

## МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ ГЛАЗУРНОГО СЛОЯ ИЗРАЗЦОВ XVIII ВЕКА

**Вахрушев В.О.<sup>1</sup>, Вайнштейн Д.Л.<sup>1</sup>, Волков А.И.<sup>1</sup>, Ковалев А.И.<sup>1</sup>, Коновалов Е.П.<sup>1</sup>,  
Кологриева У.А.<sup>1</sup>, Мухсинова А.Д.<sup>1,2</sup>, Шлыкова Т.В.<sup>1,3</sup>**

1 - ООО НТВП "Поверхность", Москва, Россия

2 - РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

3 - Санкт-Петербургский государственный институт культуры, Санкт-Петербург,  
Россия

d\_wainstein@sprg.ru

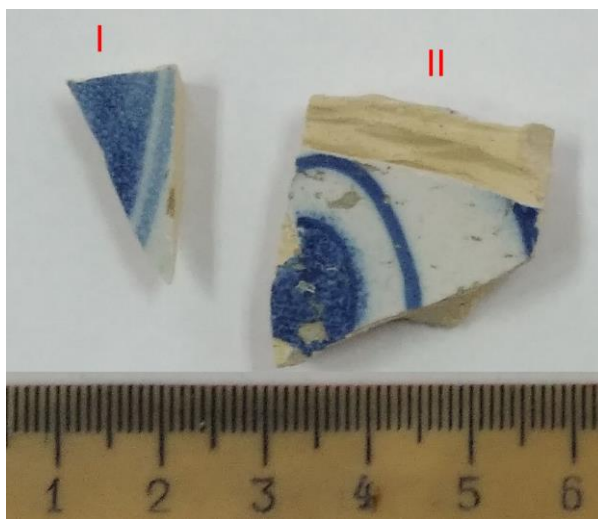
*Исследовали фрагменты изразцовых плиток с росписью, оцененные искусствоведами по внешним признакам как произведённые в Голландии в XVIII веке. Представлены результаты исследования состава поверхности глазурного слоя методами рентгенофлюоресцентной спектроскопии (РФС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и времяпролётной масс-спектрометрии вторичных ионов (МСВИ) в сопоставлении с литературными данными, необходимые для проведения реставрационных работ.*

В настоящее время можно констатировать рост интереса специалистов к искусству голландской фаянсовой плитки XVII – XVIII вв. Он стимулируется, в том числе, обретением вновь выявленных объектов культурного наследия данного круга в результате археологических и архитектурно-археологических исследований, а его результаты выражаются в новых тематических выставках и специализированных исследованиях. Из недавних изысканий этой направленности выделим доклад [1], который представляется особенно ценным в связи с тем, что в нём предложены инструментальные методы, позволяющие разграничить центры производства плиток.

В 2017 г. в мастерскую реставрации керамики кафедры реставрации и экспертизы объектов культурного наследия Санкт-Петербургского государственного института культуры поступили 22 фаянсовые плитки из частного собрания. Размеры плиток 13x13 см. Плитки выполнены из керамического теста светло-жёлтого цвета тонкой текстуры, покрыты белой глушёной глазурью (эмалью) и расписаны в подглазурной технике. Пять из них – с орнаментальной росписью коричневым пигментом, восемь – с орнаментальной росписью синим, орнамент в обоих случаях растительный. Девять плиток, расписанных синим пигментом, украшены сюжетной росписью в круге с угловым орнаментальным заполнением, из них три – с изображением корабля, шесть – с пейзажной росписью с включением изображений архитектуры и человека. Визуально определимые технико-технологические и стилистические особенности и наличие аналогий [2] дают основание определять эти плитки как голландские изделия XVIII в.

Для проведения реставрационных работ крайне важным является получение достоверной информации о химическом составе глазурного слоя, что явилось целью данной работы.

**Материалы и методы.** Для исследований особенностей химического состава глазури изразцов с росписью синего цвета были отобраны два фрагмента, размеры которых соответствовали возможностям объектодержателей приборов. На рисунке 1 представлен внешний вид отобранных образцов.



*Рис. 1.* Внешний вид исследованных фрагментов изразцовых плиток

Анализ обобщённого элементного состава глазурного слоя выполняли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФС) с использованием спектрометра AXIOSmax Advanced (PANalytical, Нидерланды).

Исследования состава поверхности с высокой локальностью по глубине проводили методами масс-спектрометрии вторичных ионов (МСВИ) на времяпролётном масс-спектрометре TOF.SIMS5-100 (IONTOF GmbH, Германия), оснащённым сканирующим источником ионов  $Bi$  с пространственным разрешением 25 нм и источниками ионов  $Cs$  и  $O$  для построения глубинных профилей, а также методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии на электронном спектрометре ESCALAB Mk2 (VG, Великобритания) с использованием источника  $Al K\alpha$  рентгеновского источника с двойным  $Al-Mg$  анодом ( $h\nu = 1486.6$  eV, ширина линии  $Au 4f_{3/2-5/2}$  на половине высоты (полуширина) = 0.9 eV). Зарядка образца компенсировалась потоком медленных электронов источника EMU-50 с энергией 70 эВ. Управление спектрометром и регистрация спектров осуществлялось программой Spectrum2 [3], обработка спектров проводилась программой UNIFIT2007 [4]. Значения энергий связи корректировались по положению линии  $C 1s$ .

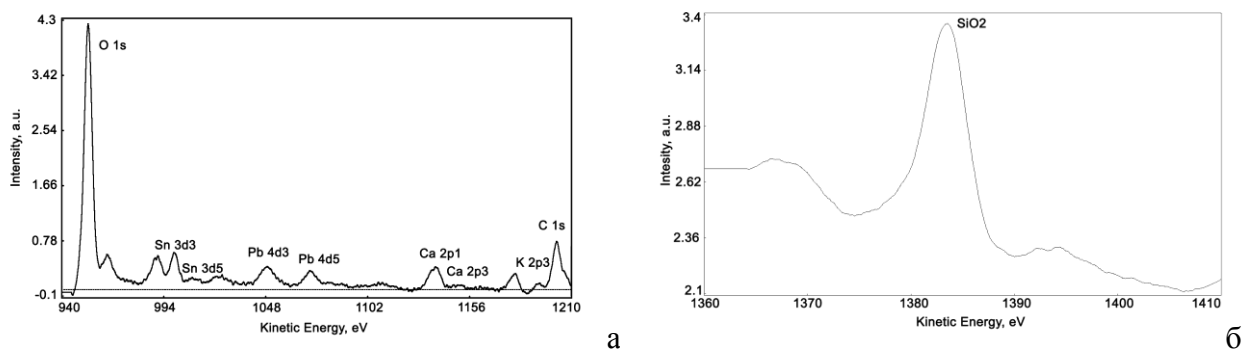
**Обсуждение результатов.** Усреднённый состав образцов со стороны глазури, определённый методом РФС, представлены в Таблице 1. Необходимо принять во внимание, что РФС характеризуется глубиной анализа керамических материалов до 3 мм [5], и представленный состав частично относится к керамической основе.

Таблица 1.

**Состав изразцов со стороны глазури по данным РФЭС, %вес.**

Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NiO
1.80	1.58	3.15	54.1	4.77	4.75	0.12	0.05	1.20	0.25	0.11
CuO	SnO <sub>2</sub>	PbO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	SrO	
0.03	7.53	19.3	0.43	0.46	0.25	0.02	0.01	0.01	0.06	

На рисунке 2 представлены спектр РФЭС от поверхности глазури в области характеристических линий основных элементов по данным РФЭС и литературы [1]. Данные по содержанию некоторых элементов в глазури приведены в Таблице 2.



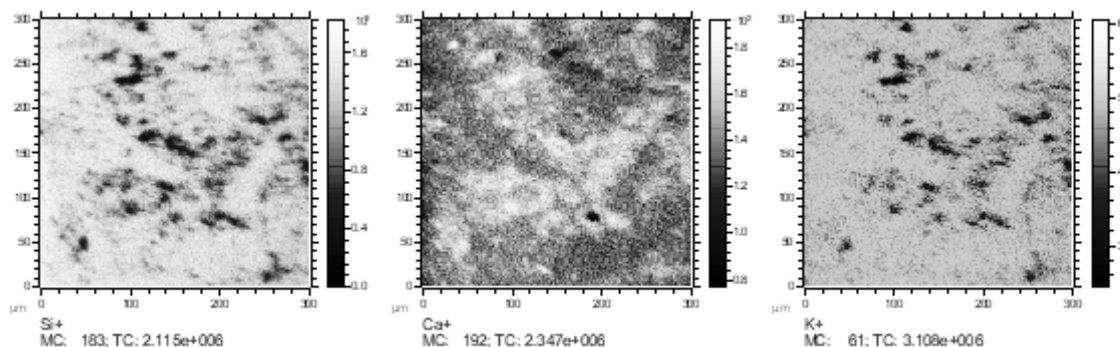
**Рис. 2.** РФЭС спектры в области характеристических линий Sn, Pb, Ca, K (а), Si (б).

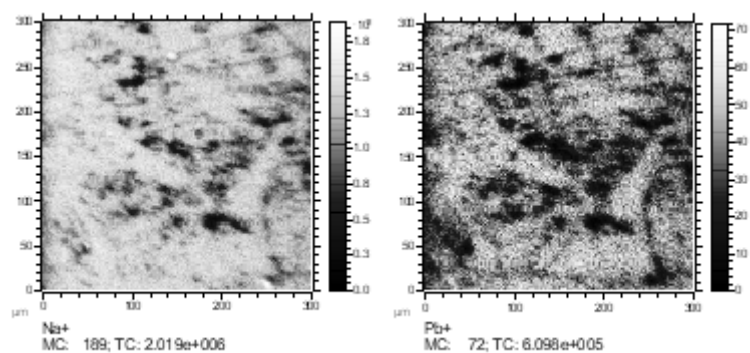
Таблица 2

**Содержание химических элементов на поверхности глазури, %ат.**

Элемент	Sn 3d3	Pb 4d3	Ca 2p1	K 2p3	Si 2p
%	0.46	0.43	1.53	0.7	96.87

На рисунке 3 представлено распределение некоторых вторичных ионов по площади, соответствующих белым и синим участкам глазури. Видно, что разные элементы на различные участки формируют ассоциации, характеризующие составы используемых красителей. По литературным данным, эти пространственные корреляции элементов характерны для определённых центров производства керамик. Сопоставление полученных нами результатов с археометрическими данными, приведёнными в [1], позволяет оценить исследованные образцы как произведённые в Голландии в начале-середине XVIII века.





**Рис. 3.** Распределение по поверхности глазури ионов Si, Ca, K, Na, Pb.

**Выводы.** Комплексное применение методов анализа поверхности для исследования исторических керамик позволяет получить информацию об их элементном и фазовом составе, включая содержание малых примесей, которая в совокупности с имеющейся археометрической информацией позволяет достаточно точно привязать исследуемые образцы к месту и времени их производства.

**Благодарности.** Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-19-00412, <https://rscf.ru/project/21-19-00412/>

### Литература

1. К. С. Чугунова, И. А. Григорьева, Р. Р. Реброва. Голландские плитки: опыт археометрического исследования. Конференция по вопросам реставрации керамики и стекла. День 2. Утренняя секция / Реставрационный центр имени И. Э. Грабаря (электронный ресурс) <https://youtu.be/oRRikSKcyu4?t=4614> (дата обращения 26.03.2021 г.)
2. Н. В. Калязина и др. "Здесь память прошлого еще жива вокруг". Вдворец Меншикова: 1711-2011 : к 300-летию дворца А. Д. Меншикова и к 30-летию экспозиции "Культура России первой трети XVIII века" во дворце А. Д. Меншикова : кат. выст. в Гос. Эрмитаже, С.-Петербург, 28.10.2011 - 26.02.2012; Санкт-Петербург : Изд-во Гос. Эрмитажа, 2011. – С. 223
3. Система управления спектрометром и регистрации спектра Spectrum2 (электронный ресурс) <https://www.sprg.ru/spectrum.html> (дата обращения 12.04.2021 г.)
4. UNIFIT for Windows Software. Unifit Scientific Software GmbH. ((электронный ресурс) <http://www.unifit-software.de> (дата обращения 12.04.2021 г.)
5. Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А., Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. // Металлургия, М., 1982 г., 632 стр.