

## ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 904; 543.427.34; 539.217.1; 616.073.756.8; 543.51

### БОСПОРСКАЯ И ПОНТИЙСКАЯ СИГИЛЛАТА ИЗ ПАНТИКАПЕЯ: ОПЫТ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

© 2023 г. Д. В. Журавлев<sup>1,2</sup>, А. В. Мандрыкина<sup>2</sup>, А. В. Смокотина<sup>3</sup>, П. В. Гурьева<sup>2</sup>,  
Е. С. Коваленко<sup>2</sup>, А. М. Исмагулов<sup>2</sup>, М. С. Малозовская<sup>2</sup>,  
Е. Ю. Терещенко<sup>2,\*</sup>, Е. Б. Яцишина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный исторический музей, Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

<sup>3</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

\*E-mail: elenatereschenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.08.2023 г.

После доработки 19.08.2023 г.

Принята к публикации 19.08.2023 г.

Краснолаковая керамика (*terra sigillata*) — важнейшая группа высококачественной столовой посуды первых веков н.э. как источник по изучению динамики торговых связей Боспорского царства и местного керамического производства римского времени. Одной из наиболее значимых задач в изучении римской керамики является уточнение локализации происхождения различных образцов и технологических особенностей различных производственных центров. Представлены результаты исследования двух наиболее распространенных на Боспоре групп краснолаковой керамики I в. до н.э.—II в. н.э. — боспорской и понтийской сигиллаты. Все фрагменты происходят из раскопок на акрополе Пантикапея экспедицией ГМИИ им. А.С. Пушкина под руководством В.П. Толстикова в 1995–2006 гг. (раскоп Центральный-Северный). По результатам исследований методами рентгеновской томографии, электронной микроскопии, масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, выявлены характерные параметры, различающие эти группы между собой — количественные характеристики пористости и включений, содержание основных элементов и микропримесей.

DOI: 10.56304/S1992722323050205

#### ВВЕДЕНИЕ

Римская *terra sigillata*, или краснолаковая керамика, вне всяких сомнений, является одним из маркеров римской культуры, а распространение находок *terra sigillata* в римских провинциях и в окружающем их Барбарикуме (земли, населенные варварами) свидетельствует о влиянии провинциально-римской культуры на местное население.

В эпоху Митридатовых войн 89–63 гг. до н.э. проливы были блокированы римским флотом, что привело к “импортозамещению” и началу массового производства местных групп керамики, в первую очередь, боспорской сигиллаты, рельефных “мегарских чаш” и сероглиняных светильников различных типов. Боспор возвращается на международный рынок столовой посуды со второй половины I в. до н.э., после поражения Митридата Евпатора в многолетнем противостоянии с Римом, особенно широкое использование боспорской сигиллаты наблюдается с начала I в. н.э. Наряду с появлением разнообразной, но

стандартизированной столовой посуды из крупных средиземноморских центров в Причерноморье распространяется локальная керамика столовой посуды высокого качества — понтийская сигиллата, которая господствовала на рынках огромного региона не менее 200 лет.

Задачей настоящего исследования, проведенного в НИЦ “Курчатовский институт”, было изучение двух наиболее важных для столицы Боспора групп краснолаковой посуды — боспорской сигиллаты местного производства и понтийской сигиллаты, произведенной в одном из причерноморских центров, но бывшей импортом для Пантикапея. Это часть большой программы по исследованию естественно-научными методами краснолаковой керамики из этого центра [1].

#### *Боспорская сигиллата*

Боспорская сигиллата — наиболее распространенная группа краснолаковой керамики на территории Боспорского царства в I в. до н.э. и, вероятно, в первой половине I в. н.э. Эта группа бы-

ла выделена К. Домжалским [2, р. 95, 97], затем исследовалась Д.В. Журавлевым и А.В. Смокотинной [3, р. 248, fig. 6; 4–6].

Боспорская сигиллата изготовлена из мягкого глиняного теста различных оттенков коричневого и розово-красного цветов, часто с серой, темной или розовой сердцевиной. В черепке визуальными определяются примеси известняка, железистых частиц и редкой мелкой слюды в различной концентрации [6, с. 290]. Мастерские по изготовлению боспорской сигиллаты в настоящее время еще не открыты. Тем не менее химические анализы и визуальное сравнение образцов этой посуды с местной простой столовой керамикой, “мегарскими чашами” и черепицей, а также находки керамического брака позволяют предполагать ее изготовление в Пантикапее [2, р. 97; 5, с. 90–91; 6, с. 290].

Боспорская сигиллата в позднеэллинистический период отличается широким диапазоном форм открытых сосудов, предназначенных главным образом для сервировки стола (тарелки, блюда, миски, чаши и солонки). Многие из них полностью или в общих чертах имитировали широко распространенные формы чернолаковой керамики и краснолаковой посуды группы Eastern Sigillata A [6, с. 290–293].

Производство боспорской сигиллаты продолжалось со второй половины II в. до н.э. и как минимум до конца I в. до н.э. – начала I в. н.э., когда она сменилась понтийской сигиллатой [5, с. 90–91], но вполне вероятно ее производство в римское время, во всяком случае, в I в. н.э.

#### *Понтийская сигиллата*

Эта группа краснолаковой посуды, массово представленная в бассейне Черного моря, достаточно редка в Средиземноморье и была выделена в 1970 г. [7]. Центры производства понтийской сигиллаты (Pontic sigillata) пока не выделены [8, 9], но, возможно, часть из них располагалась в северо-западном Причерноморье (совр. Румыния). Понтийская сигиллата не гомогенна, и разделяется минимум на три группы, соответствующие разным центрам производства. Наиболее распространена так называемая понтийская сигиллата А (Pontic sigillata A), появившаяся не позднее второй четверти I в. н.э. и полностью вытеснившая боспорскую сигиллату с боспорского рынка [9].

#### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были отобраны образцы боспорской и понтийской сигиллаты (табл. 1, рис. 1, 2) из раскопок на акрополе Пантикапея (современный г. Керчь) экспедицией ГМИИ им. А.С. Пушкина под руководством В.П. Толстикова в 1995–2006 гг. (раскоп Центральный-Северный).

Все образцы входят в фонд вспомогательной коллекции, хранящейся на базе Боспорской (Пантикапейской) экспедиции ГМИИ им. А.С. Пушкина. При описании образцов после указания размера фрагмента указаны реконструированные размеры сосуда:  $D$  – диаметр венчика,  $d$  – диаметр донца,  $H$  – высота. Все цвета указаны по шкале Munsell Soil Colour Charts.

В состав образцов был включен еще один (158b), который первоначально считался боспорским (рис. 2). Его форма идентична боспорской форме кубков-скифосов [6, рис. 1, 11], но такие сосуда с большей долей вероятности могли выступить прототипом для боспорской сигиллаты. В ходе исследования установлено, что образец имеет, очевидно, книдское происхождение. Близки по форме фрагменты 397р и 427р, но они явно имеют другое происхождение – возможно, Пергам или Малая Азия.

Вместе с этими образцами исследован фрагмент 198р понтийской серой керамики (Pontic Gray ware) (рис. 2). Эта пока еще малоизученная группа столовой посуды I в. до н.э. – I в. н.э. [3] была тесно связана с понтийской сигиллатой (а возможно, и с боспорской сигиллатой). Характер лакового покрытия имеет параллели с сосудами понтийской сигиллаты – нижняя часть этих сосудов лаком не покрыта, на ней видны подтеки лака. Главное отличие – цвет покрытия, который варьируется от темно-серого до почти черного.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для углубленного изучения состава и структуры образцов краснолаковой керамики использовали данные локальных (электронно-микроскопических – ЭМ) и интегральных (рентгеномографических – РТ, атомно-эмиссионных и масс-спектрометрических с индуктивно-связанной плазмой – ИСП-АЭС и ИСП-МС) исследований.

Для проведения ЭМ-исследований были изготовлены поперечные шлифы образцов (шлифовка Р1800 и Р2500, финишная полировка Р4000). Оптические фото шлифов (рис. 3) получены с помощью стереоскопического микроскопа Olympus szx7 Zoom (Olympus) с предустановленной камерой для цифровой съемки изображений Leica IC80 HD (Leica Microsystems).

Исследования внутреннего строения фрагментов керамики методом РТ проводили на промышленном рентгеновском томографе X5000 (NSI) на трубке открытого типа. Параметры напряжения и тока подбирали с целью получения высокого разрешения (размер вокселя) и варьировали в зависимости от объема проб (табл. 2).

Теневые проекции регистрировались позиционно-чувствительным детектором рентгеновского излучения Perkin Elmer с размером матрицы

Таблица 1. Описание изучаемых образцов

| Образец                     | Место находки                                       | Краткое описание фрагмента предмета  | Глиняное тесто и лаковый слой  | Размеры (см) фрагментов и реконструкции ( <i>D</i> , <i>H</i> , <i>d</i> ) формы сосуда | Дата/Примечания  |
|-----------------------------|---|--|--|---|--|
| <b>БОСПОРСКАЯ СИГИЛЛАТА</b> |   |  |  |   |  |
| 84b<br>рис. 1, 3            | Ц.-С. 2003.<br>Кв. 47/шт. 4                         | Сковорода тонкостенная.<br>Нижняя поверхность закопчена  | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 4/6) с примесью известняка, мелкой слюды, песка. Красный лак (10 R 4/8) по внутренней стороне   | 8.6 × 8.6<br><i>D</i> – 20.0<br><i>H</i> – 2.3<br><i>d</i> – 15.2                       | I в. до н.э. Редкая форма – обычно кухонная посуда красным лаком не покрывалась [ср. 6, рис. 2, 4]                                   |
| 137b<br>рис. 1, 3           | Ц.-С. 2002.<br>Кв. 242/шт. 9,<br>южная часть        | Динос. В центре на внутренней стороне пояс из двух рядов косых насечек 5 и пояс из двух рядов косых насечек и двух рядов горизонтальных насечек                    | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6) с желтовато-красной (5 YR 5/6) или коричневой (7.5 YR 4/2) сердцевиной с примесью известняка, редких мелких блестящих частиц. Лак красный (2.5 YR 4/6) | 34.0 × 18.4<br><i>D</i> – 35.0<br><i>H</i> – 4.5<br><i>d</i> – 11.2                     | I в. до н.э.   |
| 161b<br>рис. 1, 3           | Ц.-С. 2002.<br>Кв. 242/шт. 9,<br>южная часть        | Блюдо на кольцевом поддоне. В центре на внутренней стороне пояс из двух рядов косых насечек и пояс из двух рядов косых насечек и двух рядов горизонтальных насечек | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6) с желтовато-красной (5 YR 5/6) или коричневой (7.5 YR 4/2) сердцевиной с примесью известняка, редких мелких блестящих частиц. Лак красный (2.5 YR 4/6) | 34.0 × 18.4<br><i>D</i> – 35.0<br><i>H</i> – 4.5<br><i>d</i> – 11.2                     | I в. до н.э. Это наиболее распространенная форма боспорской сигиллаты [6, рис. 1, 1]   |
| 182b<br>рис. 1, 3           | Ц.-С. 2005.<br>48-49 из-под<br>кладок 332 и<br>3276 | Сосуда закрытого типа дно на кольцевом поддоне   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6) с серой сердцевиной (2.5 Y 5/1) с примесью известняка, мелкой слюды. Лак желтовато-красный (5 YR 4/6)  | 9.3 × 7.3<br><i>d</i> – 10.0  | I в. до н.э. – I в. н.э. Дно в центральной части деформировано, с полостями – вероятно, керамический брак? Отпечатки пальцев мастера |
| 189b<br>рис. 1, 3           | Ц.-С. 338-<br>335/3-4                               | Чаши-скифоса венчик с бортиком и частью ручки. На внешней стороне бортика остатки растительной росписи светлым ангобом   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/8) с розово-красной сердцевиной (10 R 6/4) с примесью известняка, мелкой слюды. Красный лак (10 R 4/8)  | 6.6 × 3.8<br><i>D</i> – 18.0<br><i>h</i> – 3.8  | I в. до н.э. [6, рис. 1, 11]   |

Таблица 1. Продолжение

| Образец                  | Место находки                              | Краткое описание фрагмента предмета  | Глиняное тесто и лаковый слой   | Размеры (см) фрагментов и реконструкции ( <i>D, H, d</i> ) формы сосуда | Дата/Примечания  |
|--------------------------|--|--|---|---|--|
| 211b<br>рис. 1, 3        | Ц.-С. 2001.<br>Кв. 209.<br>Зачистка борта  | Диноса венчик с большей частью тулова и ручкой   | Глиняное тесто красное (10 R 5/8) с красновато-желтой сердцевинной (5 YR 6/6) с примесью известняка, мелкой слюды, редких железистых частиц. Красный лак (2.5 YR 4/6), желтовато-красный лак (5 YR 4/6) | 15.5 × 8.4<br><i>D</i> – 17.0<br><i>H</i> – 8.8                         | I в. до н.э. [6, рис. 2, 8]                                      |
| 212b<br>рис. 1, 3        | Ц.-С. 2001.<br>Осыпь борта                 | Кратер с горизонтальной ручкой. Пояс из двух рядов насечек на верхней стороне венчика. Три пояса косых насечек на внутренней стороне горла, два ряда косых насечек на внутренней стороне тулова. Желобок внутри под венчиком | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6) с примесью известняка, мелкой слюды. Красный лак (10 R 4/8)   | 27.1 × 12.8<br><i>D</i> – 36.0<br><i>H</i> – 10.6                       | I в. до н.э. [6, рис. 2, 7]                                      |
| 215b<br>рис. 1, 3        | Ц.-С. 2005.<br>Кв. 231/шт. 1, траншея      | Кратера верхней части фрагмент. Пояс из ряда косых насечек на внешней стороне венчика. Два желобка на тулове   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6) с примесью известняка, мелкой слюды. Красный лак (10 R 4/8)   | 12.4 × 8.3<br><i>D</i> – 29.0<br><i>H</i> – 7.7                         | I в. до н.э.   |
| 223b<br>рис. 1, 3        | Ц.-С. 2005.<br>Кв. 11/17                   | Тарелка на кольцевом поддоне. На внутренней стороне дна пояска из двух рядов косых насечек   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/8) со светлой розово-красной сердцевинной (10 R 6/3-6/6) с примесью известняка, мелкой слюды, редких мелких железистых частиц. Красный лак (2.5 YR 5/6)                | 10.3 × 9.2<br><i>D</i> – 20.0<br><i>H</i> – 2.6<br><i>d</i> – 7.0       | I в. до н.э.   |
| <b>КНИДСКАЯ КЕРАМИКА</b> |  |  |   |   |  |
| 158b<br>рис. 2, 3        | Ц.-С. 2002.<br>Кв. 114/шт. 11, внутри пола | Кубка (скифоса?) венчик с бортиком и частью ручки фрагмент. Желобок в верхней части на внешней стороне бортика   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/8) у внешней и желтовато-красное (5 YR 5/8) у внутренней поверхности; с примесью известняка. Темно-красный лак (10 R 3/6)  | 6.4 × 4.0<br><i>D</i> – 17.0<br><i>H</i> – 3.9                          | I в. до н.э. Форма идентична боспорской 189b [ср. 6, рис. 1, 11] |

Таблица 1. Продолжение

| Образец              | Место находки                | Краткое описание фрагмента предмета   | Глиняное тесто и лаковый слой  | Размеры (см) фрагментов и реконструкции ( <i>D</i> , <i>H</i> , <i>d</i> ) формы сосуда | Дата/Примечания   |
|----------------------|------------------------------|---|--|---|---|
| ПОНТИЙСКАЯ СИГИЛЛАТА |                              |   |  |   |   |
| 73р<br>рис. 2, 3     | Ц.-С. 2005.<br>Кв. 42/шт. 15 | Чаши венчик. На внешней стороне тулова две врезные линии и ниже рельефный каплевидный орнамент до дна                     | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 5/6) без видимых примесей. Лак пятнистый различных оттенков красновато-коричневого (10 R 5/3, 5 YR 4/3)   | 5,0 × 7,8<br><i>D</i> – 8,5<br><i>H</i> – 7,5   | Около середины I в. н.э. (возможно, имитация италийской <i>pareti sottili</i> ). Отнесен к понтийской сигиллате условно |
| 77р<br>рис. 2, 3     | Ц.-С. 2003.<br>115/6         | Сосуда венчик с частью тулова. На внешней стороне под лаком роспись в технике <i>en barbotine</i> : растительный орнамент | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/8). Красный лак на внешней (10 R 4/6–4/8) и в верхней части на внутренней стороне (10R 5/8)   | 4,2 × 3,8<br><i>D</i> – 8   | Вторая половина I в. н.э.   |
| 290р<br>рис. 2, 3    | Ц.-С. 2003.<br>Кв. 82/6      | Тарелки в кольцевом поддоне донце. В центре дна клеймо <i>planta pedis</i>  | Глиняное тесто коричневое (7.5 YR 5/4). Лак красновато-коричневый (2.5 YR 4/3)   | 9,2 × 5,1<br><i>d</i> – 9,0   | Вторая половина I в. н.э. О клеймах <i>planta pedis</i> на краснолаковой посуде [10]                                    |
| 293р<br>рис. 2, 3    | Ц.-С. 2003.<br>Осыпь борга   | Блюдо овальное рыбное с рельефным декором по венчику  | Глиняное тесто красновато-желтое (7.5 YR 6/6) с сердцевиной более красноватого оттенка (5 YR 6/6) с примесью очень мелкой слюды. Красный лак (2.5 YR 5/8) с темными пятнами (2.5 YR 3/3–4/3–4/4) | 16,5 × 6,8<br><i>D</i> – 45,0<br><i>H</i> – 2,1–2,3<br><i>d</i> – 39,0                  | Конец II–первая половина III в. н.э. [11]. На внешней стороне прослеживаются отпечатки пальцев мастера                  |
| 299р<br>рис. 2, 3    | Ц.-С. 2003.<br>Кв. 84/5      | Кубок с полуферическим туловом и петельчатой ручкой с налепом сверху  | Глиняное тесто светло-коричневое (7.5 YR 6/4). Красный лак на внутренней (10 R 4/6) и внешней (2.5 YR 5/6) поверхности, с водянисто-красной (10 R 4/3) полосой по венчику                        | 7,3 × 4,5<br><i>D</i> – 14,0  | Вторая половина I в. н.э. Форма 32 по Д.В. Журавлеву [11]   |
| 304р<br>рис. 2, 3    | Ц.-С. 2001.<br>Кв. 209/15    | Кубка венчик с частью тулова и ручкой. Желобок на внешней стороне под венчиком  | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 5/6). Красный лак (2.5 YR 5/8) сохранился только на внешней стороне   | 3,2 × 4,8   | I–II вв. н.э.   |

Таблица 1. Продолжение

| Образец           | Место находки                           | Краткое описание фрагмента предмета  | Глиняное тесто и лаковый слой   | Размеры (см) фрагментов и реконструкции ( <i>D, H, d</i> ) формы сосуда | Дата/Примечания   |
|-------------------|---|--|---|---|---|
| 317р<br>рис. 2, 3 | Ц.-С. 2001.<br>Кв. 174–175,<br>зачистка | Кубка венчик с ручкой и частью тулова  | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6). Красный лак (2.5 YR 4/6) по всей сохранившейся поверхности, широкая темная красновато-коричневая полоса (2.5 YR 3/3) в верхней части | 4.3 × 3.6<br><i>D</i> – 9.5   | Форма X по Дж. Хейсу [8] = форма 32 [11]. Вторая половина I в. н.э.                                   |
| 361р<br>рис. 2, 3 | Ц.-С. 2002.<br>Кв. 114/шт. 2            | Чаши с ручкой венчик и часть бортика   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6). Красный лак (2.5 YR 5/6–5/8) по всей сохранившейся поверхности   | 8.8 × 4.8<br><i>D</i> – 19.0  | Форма 28 по Д.В. Журавлеву [9] с рудиментарной ручкой-имитацией на бортике. Вторая половина I в. н.э. |
| 363р<br>рис. 2, 3 |   | Чаши венчик с частью бортика с налепом   | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 5/6). Лак красный (2.5 YR 5/6) с темными пятнами (5 YR 3/3)  | 14.9 × 6.2<br><i>D</i> – 15.5   | Форма V по Дж. Хейсу [8] = форма 30 по Д.В. Журавлеву [9]. Конец I – первая половина II в. н.э.       |
| 379р<br>рис. 2, 3 |   | Канфара (чаши?) венчик с заостренным краем. На внешней стороне под лаком роспись <i>ep barbotine</i> : растительный орнамент | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 5/6) с примесью мелкого известняка. Красный лак (2.5 YR 5/8)   | 3.8 × 3.6<br><i>D</i> – 8.0   | Форма X по Дж. Хейсу [8] = форма 32 по Д.В. Журавлеву [9]. Вторая половина I в. н.э.                  |
| 394р<br>рис. 2, 3 |   | Миски венчик и часть тулова. Два желобка на верхней поверхности венчика с отверстием между ними                              | Глиняное тесто светло-коричневое (7.5 YR 6/4). Красновато-коричневый лак (2.5 YR 6/4) с темными (5 YR 4/2) пятнами  | 10.7 × 3.0<br><i>D</i> – 27.0   | I – II вв. н.э.   |
| 396р<br>рис. 2, 3 |   | Тарелки венчик и часть тулова  | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6). Красный лак (2.5 YR 5/8) по всей поверхности с пятнами на внешней стороне  | 10.7 × 6.7<br><i>D</i> – 16.2   | Форма I по Дж. Хейсу [8] = форма 2 или 3 по Д.В. Журавлеву [9]. Вторая половина I в. н.э.             |

Таблица 1. Окончание

| Образец                          | Место находки                                 | Краткое описание фрагмента предмета  | Глиняное тесто и лаковый слой   | Размеры (см) фрагментов и реконструкции ( <i>D</i> , <i>H</i> , <i>d</i> ) формы сосуда | Дата/Примечания   |
|----------------------------------|---|--|---|---|---|
| 402р<br>рис. 2, 3                | Ц.-С. 2003.<br>Кв. 49/5                       | Сосуда открытого типа донце на кольцевом поддоне. На внутренней стороне пояс из одного-двух рядов листовидных насечек внахлест, с частично пропечатавшейся врезной линией внутри | Глиняное тесто светло-красное (2.5 YR 6/8). Красный лак (2.5 YR 5/8)  | 6.5 × 5.8<br><i>d</i> – 5.4   | Вторая половина I – первая половина II в. н.э.                    |
| 411р<br>рис. 2, 3                |   | Блюда четырехугольной формы венчик   | Глиняное тесто красное (2.5 YR 5/6). Красный лак (2.5 YR 4/6)   | 5.6 × 2.9   | Середина – вторая половина II в. н.э. [11]                        |
| 426р<br>рис. 2, 3                | Ц.-С. 2003.<br>Кв. 81/6                       | Сосуда открытого типа донце на кольцевом поддоне. На внутренней стороне клеймо <i>planta pedis</i> , вокруг две врезные концентрические линии                                    | Глиняное тесто светло-красное (2.5 YR 6/8). Красный лак (2.5 YR 4/8) на внутренней стороне, с пятнами и потеками. Тонкостенный, песчаные включения    | 5.8 × 3.7<br><i>d</i> – 5.3   | Вторая половина I в. н.э.   |
| <b>НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ ЦЕНТРЫ</b>     |   |  |   |   |   |
| 302р + 374р<br>рис. 2, 3         | Ц.-С. 2005.<br>Кв. 48-49/из-под кл. 332, 3276 | Кружка с шаровидным туловом. Вертикальная ручка крепилась под венчиком до середины тулова, скопота. Небольшой валик при переходе от горла к плечикам                             | Глиняное тесто желтовато-красное (5 YR 5/6) с включениями известняка. Лак красный (2.5 YR 5/6), местами с красновато-коричневыми пятнами (2.5 YR 4/3) | <i>D</i> – 8.6<br><i>D</i> – 4.5  | Форма I по Д.В. Журавлеву [11]. Малая Азия или Фракия (?)         |
| 397р + 427р<br>рис. 2, 3         |   | Венчик чаши с прилепком горизонтальной ручки от бортика  | Глиняное тесто светло-коричневое (7.5 YR 6/4) с примесью мелкого известняка, блестящих и песчаных частиц. Красный лак (2.5 YR 4/8)                    | 11.3 × 5.2<br><i>D</i> – 18.0   | Пергам (?) или Малая Азия<br>Форма близка понтийской форме 28 [9] |
| <b>ПОНТИЙСКАЯ СЕРАЯ КЕРАМИКА</b> |   |  |   |   |   |
| 198р<br>рис. 2, 3                |   | Дно блюда (?). В центре штамп в виде пальмовой ветви, окруженной медальоном из двух врезных линий с пятью рядами точечных насечек между ними                                     | Глиняное тесто светлоржаво-серое (2.5 Y 6/2) с темно-серой сердцевинной (10 YR 4/1) с примесью мелкой слюды. Лак темно-серый (5 YR 4/1)               | 5.3 × 9.7   | Середина I в. н.э.  |



Рис. 1. Боспорская сигиллата. Образцы из раскопок Пантикалея.





Рис. 2. Понтийская сигиллата. Образцы из раскопок Пантикапея.



Рис. 3. Краснолаковая керамика. Оптические фото шлифов.

2048 × 2048 пикселей, размером пикселя 200 × 200 мкм, динамическим диапазоном 16 бит и сцинтиллятором на основе CsI:Тl. Для реконструкции томографических сечений использовали программный пакет eFX-CT. Визуализацию

данных и расчет пористости и включений осуществляли с помощью программного пакета Volume Graphics studio 3.5.1. Минимальный объем для расчета соответствовал размеру вокселя полученных данных. Для оценки объема включений

Таблица 2. Параметры РТ-исследования внутренней структуры образцов\*

| Образец                   | Напряжение, кВ | Ток, мкА | Размер фокального пятна, мкм | Время экспозиции одно кадр, с | Усиление, пФ | Угловой шаг, град | Размер вокселя, мкм <sup>3</sup> |
|---------------------------|----------------|----------|------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|----------------------------------|
| Боспорская сигиллата      |                |          |                              |                               |              |                   |                                  |
| 211b                      | 140            | 120      | 16.8                         | 0.5                           | 0.25         | 0.12              | 7.8 × 7.8 × 7.8                  |
| 212b                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 9 × 9 × 9                        |
| 223b                      | 100            | 190      | 19                           | 0.5                           | 0.25         | 0.18              | 8.7 × 8.7 × 8.7                  |
| 84b                       | 100            | 190      | 19                           | 0.5                           | 0.25         | 0.144             | 8.7 × 8.7 × 8.7                  |
| 137b                      | 100            | 190      | 19                           | 0.5                           | 0.25         | 0.144             | 8.7 × 8.7 × 8.7                  |
| 189b                      | 100            | 190      | 19                           | 0.5                           | 0.25         | 0.144             | 8.7 × 8.7 × 8.7                  |
| 161b                      | 110            | 120      | 13.2                         | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 8 × 8 × 8                        |
| 182b                      | 110            | 120      | 13.2                         | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 8 × 8 × 8                        |
| 215b                      | 110            | 120      | 13.2                         | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 8 × 8 × 8                        |
| Книдская керамика         |                |          |                              |                               |              |                   |                                  |
| 158b                      | 90             | 200      | 18                           | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 8.3 × 8.3 × 8.3                  |
| Понтийская сигиллата      |                |          |                              |                               |              |                   |                                  |
| 290p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 304p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 374p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 394p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 9 × 9 × 9                        |
| 426p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 397p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 402p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.24              | 9 × 9 × 9                        |
| 396p                      | 120            | 160      | 19.2                         | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 9 × 9 × 9                        |
| 293p                      | 100            | 190      | 19                           | 0.5                           | 0.5          | 0.144             | 8.7 × 8.7 × 8.7                  |
| 73p                       | 90             | 200      | 18                           | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 8.3 × 8.3 × 8.3                  |
| 77p                       | 90             | 200      | 18                           | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 8.3 × 8.3 × 8.3                  |
| 379p                      | 90             | 200      | 18                           | 0.5                           | 0.5          | 0.18              | 8.3 × 8.3 × 8.3                  |
| 299p                      | 100            | 150      | 15                           | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 7 × 7 × 7                        |
| 361p                      | 100            | 150      | 15                           | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 7 × 7 × 7                        |
| 363p                      | 100            | 150      | 15                           | 0.17                          | 0.5          | 0.18              | 8 × 8 × 8                        |
| 380p                      | 140            | 100      | 14                           | 0.25                          | 0.5          | 0.24              | 7.1 × 7.1 × 7.1                  |
| 411p**                    | 200            | 250      | 50                           | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 20 × 20 × 20                     |
| Понтийская серая керамика |                |          |                              |                               |              |                   |                                  |
| 198ps                     | 90             | 190      | 17.1                         | 0.25                          | 0.5          | 0.18              | 8 × 8 × 8                        |

\*Для пробы керамики 317p ввиду малого количества образца томография не проводилась.

\*\* Образец 411p имел значительно больший размер по сравнению с остальными, поэтому для него не было возможности обеспечить условия эксперимента, позволяющие получить более высокое разрешение.

минимальное значение ослабления выбирали по включению, наименее контрастному относительно керамической основы. Часть включений имела равный или меньший контраст с основой образцов и в расчете не учитывалась. Расчет пор и включений проводили для полного объема образцов.

Основной элементный состав керамической основы изделий определяли методом растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ/ЭРМ). На поверхность образцов наносили токопроводящую пленку аморфного углерода при помощи

термического распыления с использованием установки Leica EM ACE600 (Leica Microsystems) для снижения накопления статического заряда вследствие низкой проводимости материала. Для анализа основного состава керамического теста спектры ЭРМ были получены от центральных областей шлифов, вне приповерхностных областей лаковых слоев, которые могут заметно отличаться по составу от основы [1]. Данные о составе определяли усреднением результатов пяти измерений. РЭМ/ЭРМ-исследования проводили с помощью растрового двухлучевого электронно-ионного микроскопа Helios Nanolab 600i (Thermo Fisher Scientific), оборудованного системой ЭРМ (EDAX), при ускоряющем напряжении 30 кВ в режиме высокого вакуума ( $10^{-4}$  Па). Обработку спектров ЭРМ осуществляли с помощью программного обеспечения TEAM (EDAX). Полученные данные считаются полуколичественными, так как суммарное содержание идентифицированных элементов приводится к 100%. Чувствительность метода составляет 0.1–0.5 мас. %.

Состав образцов вплоть до следовых примесей определяли методами ИСП-МС – измеряли содержание микропримесей до 0.1 мкг/г (ppm) и ИСП-АЭС – содержание (в мас. %) основных компонентов (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe) и примесей (P, Sc, V, Cr, Mn, Ni, Sr, Ba) ввиду более высокой чувствительности метода ИСП-АЭС к данным элементам.

Для измерений использовали атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой iCAP6300 Duo (Thermo Fisher Scientific) и масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Elan DRC-e (Perkin Elmer).

Анализ ИСП-МС выполнен с использованием многоэлементного градуировочного стандартного образца для ИСП-спектроскопии ICP-MS-3-10 (5%  $\text{HNO}_3$ ) (High-Purity Standards) с применением метода TotalQuant. Параметры работы масс-спектрометра: мощность высокочастотного генератора – 1200 Вт, время измерения на массе – 25 мс, число циклов – 20, число повторов – 2.

Анализ ИСП-АЭС выполнен с использованием многоэлементных градуировочных стандартных образцов (High-Purity Standards): ICP-MS-68B-100, Solution A ICP-MS-68B-A-10, Solution B ICP-MS-68B-B-10 (2%  $\text{HNO}_3$ ). Параметры работы АЭС-спектрометра: мощность высокочастотного генератора – 1200 Вт, время интегрирования на щели 1 – 25 с, время интегрирования на щели 2 – 20 с, число повторов – 3.

*Процедура пробоподготовки.* Навеску образца (20–100 мг) растворяли в две стадии в системе автоклавного разложения MARS при 180°C. На первой стадии использовали смесь кислот HCl,  $\text{HNO}_3$  и HF, на второй стадии добавляли 4%-ный раствор  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . После раствор переносили в по-

липропиленовую пробирку объемом 50 мл, разбавляли деионизированной водой и нагревали до 90°C в системе HotBlock. Для анализа ИСП-МС полученный раствор разбавляли 2%-ной азотной кислотой до концентрации 400 ppm, для ИСП-АЭС-анализа – до концентрации 10 ppm. Для образцов, имеющих достаточную массу, проводили по два параллельных растворения.

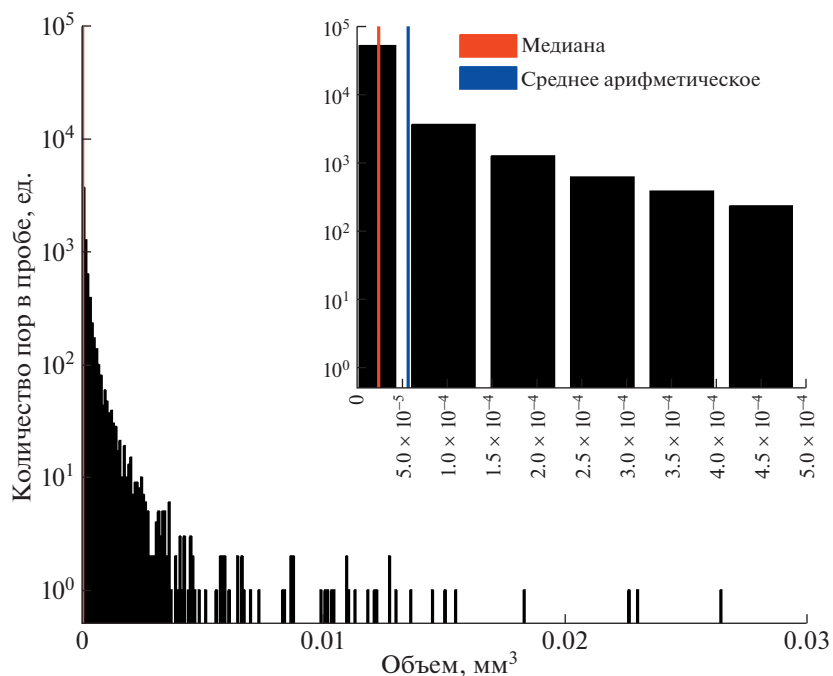
Данные об основном и микропримесном составе керамической основы, как и содержание пор и включений по результатам РТ, анализировали с помощью программы Statistica. Методом анализа главных компонент (АГК) выявляли основные корреляционные закономерности в изменении содержания различных элементов. При определении наиболее значимых факторов основным критерием была стратификация образцов по группам. Для более корректного учета неоднородного разброса значений объемов включений и пор всей совокупности данных для каждого образца рассчитывали медиану и обобщали в виде блочных диаграмм размаха. Пример анализа распределения пор представлен на рис. 4 (для образца 394р) – среднее значение составило  $5.57 \times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>, медиана –  $2.26 \times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

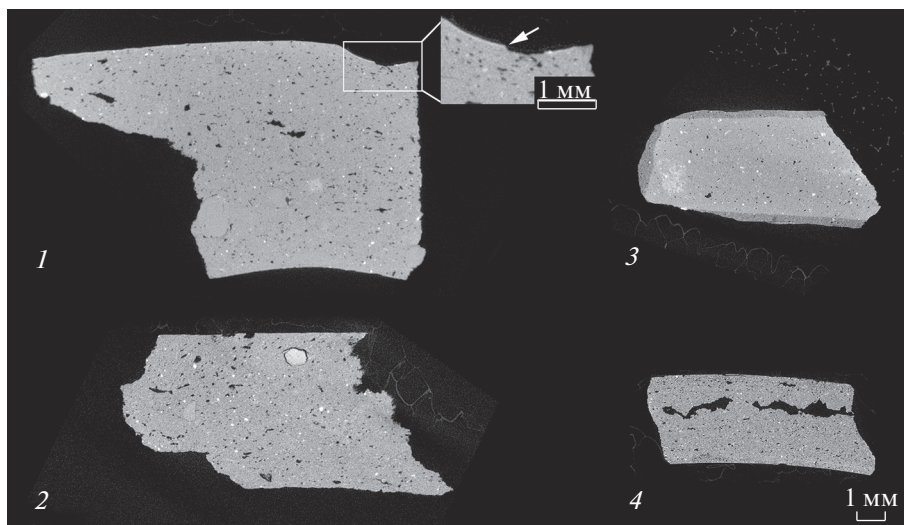
По данным РТ определено содержание пор и включений в каждом образце (табл. 3).

У большинства образцов вдоль поверхности наблюдается поглощающий слой 0.02–0.03 мм (рис. 5, 1), отличающийся по интенсивности от среднего значения интенсивности образца на 9–25%, соответствующий видимому лаковому покрытию. Кроме того, у ряда образцов понтийской сигиллаты (290р, 304, 394р, 397р, 396р, 293р, 379р, 299р, 363р и 380р) наблюдается слой толщиной от 0.08 до 1.3 мм, проходящий вдоль поверхности и слабо поглощающий рентгеновское излучение (рис. 5). Также для понтийской сигиллаты характерна выраженная неоднородность материала, отличающаяся помимо контрастных включений тонкими, более поглощающими слоями, хаотично расположенными в объеме проб.

Для сопоставления характера групп понтийской и боспорской керамики данные о размерах (равновесное среднее – медианы,  $\times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>) и процентном содержании пор и включений (табл. 3) представлены в виде блочных диаграмм размаха (рис. 6), которые отражают их распределение по группам боспорской и понтийской сигиллаты. Значимые технологические дефекты – крупномасштабные полости (рис. 5, 4) – в расчетах медианы и максимальных размеров пор не участвовали. Отметим, что особенности внутренней структуры меньше размера вокселя (табл. 2), т.е. разрешения эксперимента, не детектируются,



**Рис. 4.** Характерная гистограмма распределения пор для образца 394р. Красная линия – медиана, синяя линия – среднее арифметическое значение объема пор.



**Рис. 5.** Томографические сечения образцов керамики с особенностями структуры: 1 – 215b с высокой пористостью и лаковым слоем (отмечено стрелкой), 2 – 211b с высоким содержанием включений, 3 – 304р с ангобом и неоднородностями керамической массы, 4 – 380р с крупной полостью.

поэтому характеристики образца 411р в части значения медианы объема пор и включений не соответствуют общим характеристикам группы понтийской сигиллаты. Образец 411 ввиду большего объема расширяет диапазон детектируемых максимальных объемов пор/включений, которые в малых пробах увидеть не можем.

Боспорская и понтийская сигиллаты близки по процентному содержанию включений (рис. 6а, табл. 3), но существенно различаются по пористости (рис. 6б) – в среднем пористость образцов боспорской группы выше понтийской на 1.8%. По медианному объему пор (рис. 6г) боспорская и понтийская сигиллаты практически идентичны,

Таблица 3. Содержание и объемы пор и включений по данным РТ

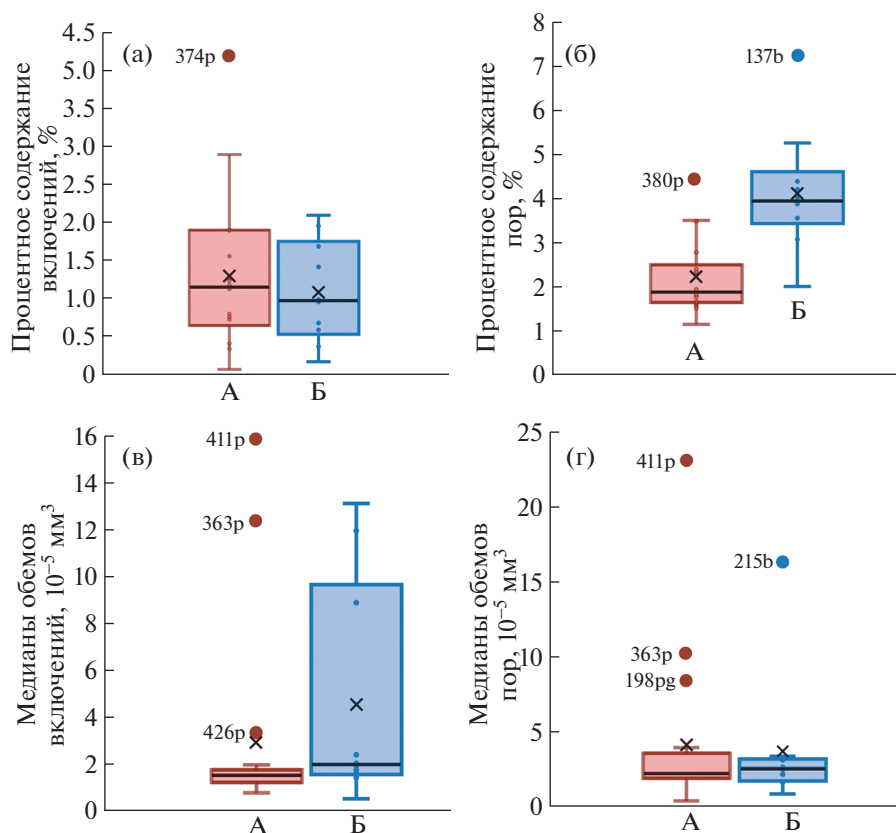
| Образец | Поры                             |            |                  | Включения                        |           |                  |
|---------|----------------------------------|------------|------------------|----------------------------------|-----------|------------------|
|         | Объем, $10^{-5}$ мм <sup>3</sup> |            | Содержание,<br>% | Объем, $10^{-5}$ мм <sup>3</sup> |           | Содержание,<br>% |
|         | медиана                          | max        |                  | медиана                          | max       |                  |
| 73p     | 1.55                             | 866.25     | 1.81             | 1.25                             | 11 533.12 | 1.91             |
| 77p     | 1.66                             | 877.21     | 1.59             | 1.18                             | 1505.50   | 1.17             |
| 293p    | 2.01                             | 2060.69    | 1.53             | 1.58                             | 3314.87   | 0.35             |
| 299p    | 3.46                             | 4056.17    | 2.29             | 1.28                             | 496.11    | 1.26             |
| 361p    | 3.98                             | 7908.95    | 1.63             | 1.02                             | 1224.61   | 1.90             |
| 379p    | 2.33                             | 889.32     | 1.78             | 1.49                             | 498.59    | 1.23             |
| 290p    | 1.61                             | 2124.99    | 2.79             | 1.70                             | 388.72    | 1.55             |
| 304p    | 2.19                             | 3032.46    | 1.67             | 1.99                             | 1743.99   | 0.79             |
| 374p    | 2.16                             | 4452.16    | 2.41             | 1.48                             | 64 121.91 | 4.15             |
| 394p    | 2.26                             | 2654.26    | 3.49             | 1.70                             | 9678.05   | 1.89             |
| 396p    | 2.26                             | 3770.73    | 1.16             | 1.70                             | 2228.20   | 0.33             |
| 397p    | 2.26                             | 9210.81    | 3.51             | 1.70                             | 1341.28   | 0.79             |
| 402p    | 2.42                             | 23 581.83  | 1.83             | 1.48                             | 11 777.36 | 0.72             |
| 426p    | 2.88                             | 3231.13    | 1.79             | 3.18                             | 3122.28   | 2.89             |
| 363p    | 10.19                            | 10604.94   | 2.35             | 12.43                            | 509.09    | 0.06             |
| 380p    | 0.43                             | 7757.61    | 4.46             | 0.79                             | 161.42    | 0.40             |
| 411p    | 23.03                            | 115 233.23 | 1.95             | 15.86                            | 5961.78   | 1.12             |
| 198pg   | 8.37                             | 6401.57    | 2.34             | 1.16                             | 963.20    | 0.75             |
| 84b     | 3.15                             | 48 132.04  | 2.02             | 2.41                             | 5211.35   | 1.95             |
| 137b    | 2.51                             | 16461.78   | 7.22             | 1.75                             | 9878.39   | 2.09             |
| 158b    | 1.65                             | 1677.61    | 4.39             | 1.43                             | 3998.22   | 0.95             |
| 189b    | 1.77                             | 9087.65    | 4.21             | 2.05                             | 15 871.97 | 1.41             |
| 211b    | 0.89                             | 7816.89    | 5.26             | 13.10                            | 17 788.44 | 0.98             |
| 223b    | 2.67                             | 4537.28    | 4.03             | 1.94                             | 4638.05   | 0.67             |
| 212b    | 2.67                             | 37466.95   | 3.59             | 1.62                             | 4647.55   | 1.68             |
| 215b    | 16.49                            | 20 208.44  | 3.56             | 11.93                            | 27 965.94 | 0.58             |
| 161b    | 2.20                             | 12 788.53  | 3.88             | 0.54                             | 5311.74   | 0.36             |
| 182b    | 3.40                             | 13 833.37  | 3.08             | 8.88                             | 4761.91   | 0.16             |

за исключением образцов 363p, 198pg, 411p и 215b, а по медианному объему включений боспорские образцы показали (рис. 6в) существенно большую неоднородность – от 0.54 до 13.1 мм<sup>3</sup> относительно основного массива понтийских образцов (0.79–3.18 мм<sup>3</sup>, исключая образцы 363p (12.43 мм<sup>3</sup>) и 411p (15.86 мм<sup>3</sup>)).

Анализ максимальных размеров пор и включений, отражающих технологические дефекты керамической основы (табл. 3), показал, что качество боспорских образцов заметно ниже понтийских, хотя образцы с крупными дефектами и включениями есть в обеих группах (максималь-

ные поры: 363p, 402p, 411p, 84b, 137b, 212b, 215b; максимальные включения: 73p, 394p, 402p, 426p, 215b, 211b, 189b). Также для понтийской сигиллаты характерна выраженная неоднородность материала, отличающаяся помимо контрастных включений тонкими более поглощающими слоями, хаотично расположенными в объеме проб.

В составе ряда изученных образцов по данным РЭМ/ЭРМ (табл. 4) идентифицировано наличие фосфора, серы и марганца, но их содержание – на пределе чувствительности метода, аналогично в образце 394p идентифицировано присутствие ме-



**Рис. 6.** Диаграммы процентного содержания и равновесного среднего объема пор и включений в образцах понтийской (А) и боспорской сигиллаты (Б). Медианы обозначены линиями, среднее арифметическое – крестиками.

ди. Основные отличия понтийских образцов от боспорских:

- достаточно высокое содержание кальция в понтийских образцах 10.4–33.6 (за исключением 426p, 374p, 402p) по сравнению с боспорскими 1.3–7.6 (за исключением 158b);

- по содержанию натрия и магния боспорские образцы являются более однородными (1.9–4.5 и 1.3–3.9 соответственно) относительно понтийских (0.3–6.2 и 1.1–12.2 соответственно);

- в понтийских образцах содержание хлора выше (0.7–3.0), чем в боспорских (<0.5–1.8);

- разброс содержания железа в образцах обеих серий сопоставим 3.9–10.5 (понтийские) и 4.8–12.5 (боспорские).

Анализ методом АГК данных об основном и микропримесном составе образцов (табл. 4–7) выявил следующие группы – рис. 7. При этом факторы (табл. 8), отражающие агрегированные характеристики образцов (корреляции в изменении содержания тех или иных элементов), обобщали как основные петрогенные элементы, характерные для глины, так и группы микропримесей. Стратификация образцов на основе АГК-анализа данных РЭМ/ЭРМ о составе обеих групп образцов по

факторам 1 (Al и Si – глиняная основа, K и Mg – основные катионы глины, Cl, Ca) и 2 (Na, Mn, Ti, K), которые отражают корреляции содержания базовых петрогенных компонентов – полевых шпатов, рутила/анатаза и т.п., представлена на рис. 7а. Красным цветом (пунктирная линия) обозначена область понтийских образцов (кружки), синим (сплошная линия) – боспорских (треугольники). Из областей выделяются образцы 84b, 215b, 158b, 317p, 402p. Отметим, что в факторах 1 и 2 (табл. 8) вклад железа менее 4 отн. %, т.е. содержание железа в данных образцах не является определяющим для их стратификации.

Для более удобного восприятия значения содержаний основных компонентов (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe) по данным ИСП-АЭС представлены в мас. % (табл. 5), содержание примесей и следовых элементов по данным ИСП-АЭС и ИСП-МС (табл. 6 и 7) – в мкг/г (ppm).

По данным ИСП-АЭС (табл. 5) для обеих групп можно отметить значительную вариацию содержания натрия, кальция и магния. По содержанию ряда микропримесей по данным ИСП-МС и ИСП-АЭС (табл. 6 и 7) в группе боспорской

Таблица 4. РЭМ/ЭРМ-данные о составе керамической основы (мас. %)

|       | Na  | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | Cl   | K   | Ca   | Ti   | Mn   | Fe   |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 198pg | 1.2 | 3.1  | 14.6 | 41.2 | <0.5 |      | 0.9  | 4.6 | 25.3 | 0.8  | <0.5 | 7.9  |
| 73p   | 1.6 | 3.3  | 20.0 | 44.8 |      |      | 1.6  | 4.1 | 14.1 | 0.8  | <0.5 | 9.6  |
| 77p   | 1.1 | 2.8  | 18.8 | 49.8 | <0.5 |      | 0.7  | 5.1 | 10.4 | 0.8  |      | 10.5 |
| 290p  | 2.8 | 6.1  | 16.3 | 43.1 | <0.5 | <0.5 | 3.0  | 4.4 | 17.0 | 0.6  | <0.5 | 6.0  |
| 293p  | 1.3 | 3.3  | 16.0 | 37.6 | <0.5 | <0.5 | 1.4  | 4.1 | 26.8 | 0.8  | <0.5 | 8.3  |
| 299p  | 2.7 | 8.6  | 15.3 | 45.9 | <0.5 |      | 2.7  | 2.2 | 18.1 | <0.5 |      | 3.9  |
| 304p  | 2.8 | 3.3  | 17.2 | 38.2 | <0.5 | <0.5 | 2.3  | 4.2 | 24.1 | 0.6  |      | 7.0  |
| 317p  | 0.4 | 1.2  | 16.5 | 35.1 | <0.5 |      | 1.2  | 2.1 | 33.6 | 0.8  | <0.5 | 8.9  |
| 361p  | 2.1 | 5.2  | 19.1 | 37.9 | <0.5 |      | 1.1  | 5.5 | 21.3 | 0.4  | <0.5 | 7.2  |
| 363p  | 1.7 | 4.6  | 13.5 | 43.8 |      | <0.5 | 0.8  | 2.8 | 22.9 | 0.8  |      | 8.7  |
| 374p  | 1.8 | 2.5  | 18.8 | 52.9 | <0.5 | <0.5 | 2.1  | 5.1 | 6.1  | 0.9  | <0.5 | 9.5  |
| 379p  | 0.6 | 1.1  | 19.1 | 49.9 |      |      | 0.8  | 3.9 | 16.2 | 0.7  |      | 7.7  |
| 380p  | 2.7 | 5.7  | 16.5 | 40.6 | 0.6  | <0.5 | 1.9  | 4.0 | 18.2 | 1.0  | <0.5 | 8.2  |
| 394p  | 3.0 | 12.2 | 15.2 | 40.1 | <0.5 | <0.5 | 1.1  | 2.3 | 17.1 | <0.5 |      | 8.2  |
| 396p  | 4.7 | 2.8  | 16.4 | 36.2 | <0.5 | <0.5 | 2.1  | 3.8 | 23.6 | 1.7  |      | 8.3  |
| 397p  | 2.8 | 3.4  | 16.4 | 45.4 | <0.5 | <0.5 | 2.1  | 4.3 | 14.9 | 1.1  | <0.5 | 9.1  |
| 402p  | 6.2 | 4.3  | 24.5 | 47.6 | <0.5 | <0.5 | 1.0  | 1.7 | 2.0  | 4.5  |      | 7.8  |
| 411p  | 0.3 | 1.3  | 16.5 | 40.4 |      |      | 0.9  | 3.1 | 27.3 | 0.8  |      | 9.3  |
| 426p  | 1.4 | 2.3  | 17.6 | 55.9 |      |      | 0.9  | 5.6 | 6.0  | 1.1  | <0.5 | 9.0  |
| 211b  | 3.8 | 3.9  | 18.0 | 55.0 | <0.5 |      | 1.0  | 3.5 | 4.3  | 1.0  |      | 9.3  |
| 212b  | 2.3 | 3.1  | 19.7 | 54.6 | <0.5 |      | 1.8  | 4.5 | 3.7  | 0.8  | <0.5 | 9.1  |
| 223b  | 4.5 | 3.5  | 20.8 | 54.4 | <0.5 |      | 0.6  | 3.8 | 3.7  | 0.6  | <0.5 | 7.9  |
| 84b   | 3.0 | 1.3  | 23.6 | 48.7 |      |      | <0.5 | 8.5 | 7.6  | <0.5 | 0.5  | 6.4  |
| 137b  | 3.5 | 2.4  | 18.2 | 53.8 |      |      | <0.5 | 4.9 | 7.1  | 0.9  | <0.5 | 8.9  |
| 158b  | 1.9 | 2.3  | 16.0 | 48.8 | <0.5 |      | 0.5  | 6.5 | 15.0 | 0.7  | <0.5 | 7.8  |
| 161b  | 2.3 | 2.1  | 17.0 | 58.9 |      |      | <0.5 | 6.3 | 3.2  | 0.8  |      | 9.1  |
| 182b  | 2.4 | 1.8  | 17.1 | 64.7 |      |      | <0.5 | 3.7 | 1.3  | 0.7  |      | 8.0  |
| 189b  | 2.6 | 2.4  | 15.3 | 65.6 |      |      | 1.4  | 3.0 | 4.2  | 0.7  |      | 4.8  |
| 215b  | 2.3 | 3.3  | 20.6 | 50.4 | <0.5 |      | 1.0  | 5.9 | 2.5  | 1.0  | <0.5 | 12.5 |

Примечание. <0.5 – элементы, количества которых достаточно, чтобы идентифицировать их присутствие в составе образца по спектру ЭРМ, но интенсивность сигнала не позволяет определить их процентное содержание.

сигиллаты выделяется образец 84b (Mn, Zr, Nb, Sn и редкоземельные (РЗЭ) элементы).

Статистический анализ обобщенных данных ИСП-АЭС и ИСП-МС также показал стратификацию образцов на две группы (рис. 7б), соответствующие их происхождению, за исключением образцов 84b, 158b и 394p, выходящих за границы выделенных областей. Наиболее представительные стратификации были получены для факторов 1 и 2, которые отражали корреляции содержания различных элементов (табл. 8). Наибольший вклад (более 3 отн. % для каждого элемента) в факторе 1 – РЗЭ (в сумме ~50 отн. % вклада в

фактор), K, Sn, Nb, Y, Ga, Rb, Zr, Pb. Основные компоненты фактора 2 (отн. %): Si (12.7), Ca (8.2), Cr (10), Fe и Ni (по 7.7), Mg (6.6), Sr (4.9), Ba и Rb (по 3.7).

На следующем этапе работы для выявления специфических образцов для каждой группы проводили независимый АГК-анализ состава по совокупности данных ИСП-АЭС и ИСП-МС (табл. 5–7, рис. 7в–7е). На рис. 7 представлены распределения образцов для различных факторов (табл. 8), наиболее ярко демонстрирующие стратификацию образцов, т.е. отражающие их региональные особенности. В группе боспорской си-



**Таблица 5.** Данные ИСП-АЭС о содержании основных компонентов в составе образцов боспорской и понтийской сигиллаты, понтийской серой керамики (мас. %)

|       | Na   | Mg   | Al    | Si    | K    | Ca    | Ti   | Fe   |
|-------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
| 198pg | 0.77 | 1.69 | 7.58  | 23.77 | 2.37 | 7.97  | 0.45 | 4.33 |
| 73p   | 0.9  | 1.75 | 9.86  | 26.44 | 2.59 | 5     | 0.51 | 5.38 |
| 77p   | 1    | 1.65 | 9.83  | 27.53 | 2.71 | 4.18  | 0.51 | 5.1  |
| 290p  | 0.91 | 2.41 | 7.6   | 25.85 | 2.36 | 9.32  | 0.52 | 4.87 |
| 293p  | 0.77 | 2.02 | 8.44  | 24.88 | 2.3  | 9.09  | 0.48 | 4.99 |
| 299p  | 0.94 | 2.54 | 7.29  | 24.95 | 2.26 | 8.57  | 0.48 | 4.62 |
| 304p  | 0.82 | 1.5  | 7.59  | 25.15 | 2.6  | 9.18  | 0.45 | 4.43 |
| 317p  | 0.22 | 0.59 | 8.14  | 23.88 | 1.68 | 10.34 | 0.55 | 5.52 |
| 361p  | 0.92 | 2.35 | 7.3   | 23.12 | 2.29 | 8.9   | 0.49 | 4.71 |
| 363p  | 0.72 | 1.37 | 8.41  | 30.38 | 2.36 | 3.88  | 0.52 | 4.43 |
| 374p  | 0.8  | 1.16 | 8.38  | 30.57 | 2.31 | 2.18  | 0.53 | 4.31 |
| 379p  | 0.3  | 0.68 | 8.17  | 26.55 | 1.85 | 8.46  | 0.58 | 5.69 |
| 380p  | 0.91 | 2.27 | 7.38  | 25.75 | 2.47 | 7.7   | 0.49 | 4.71 |
| 394p  | 1.02 | 6.43 | 6.91  | 25.52 | 2.29 | 5.85  | 0.46 | 5.76 |
| 396p  | 0.9  | 1.51 | 8.1   | 26.54 | 2.33 | 9.37  | 0.48 | 4.62 |
| 397p  | 0.92 | 1.64 | 7.43  | 30.63 | 2.15 | 5.57  | 0.49 | 5.53 |
| 402p  | 0.73 | 1.29 | 8.9   | 30.45 | 2.42 | 2.51  | 0.54 | 4.61 |
| 411p  | 0.24 | 0.62 | 7.57  | 24.23 | 2.25 | 9.41  | 0.54 | 5.49 |
| 426p  | 1.24 | 0.91 | 9.43  | 32.75 | 1.56 | 1.2   | 0.79 | 4.89 |
| 161b  | 0.95 | 1.15 | 7.28  | 30.82 | 2.28 | 1.33  | 0.49 | 4.39 |
| 182b  | 0.89 | 0.92 | 7.99  | 32.21 | 1.84 | 0.58  | 0.58 | 4.13 |
| 189b  | 1.35 | 1.19 | 6.68  | 30.02 | 1.99 | 2.32  | 0.48 | 4.06 |
| 215b  | 1.04 | 1.12 | 7.11  | 30.52 | 2.24 | 1.16  | 0.45 | 4.33 |
| 84b   | 1.88 | 0.55 | 10.83 | 27.81 | 4.87 | 0.88  | 0.27 | 3.8  |
| 137b  | 1.39 | 1.18 | 7.02  | 33.4  | 2.04 | 2.64  | 0.44 | 3.76 |
| 158b  | 0.93 | 1.45 | 7.67  | 28.04 | 2.36 | 5.93  | 0.49 | 4.27 |
| 223b  | 1.17 | 1.21 | 7.5   | 30.91 | 2.18 | 1.67  | 0.5  | 4.52 |
| 211b  | 0.94 | 1.15 | 6.72  | 32.14 | 1.82 | 1.79  | 0.47 | 4.04 |
| 212b  | 0.97 | 1.2  | 7.25  | 31.17 | 2.03 | 1.5   | 0.48 | 4.41 |

гиллаты выделились образцы 137b, 189b, 158b (по фактору 3) и 182b (по факторам 2 и 5). В понтийской сигиллате – 426p (по факторам 3 и 5), 394p (по факторам 3 и 4) и 380p (по фактору 5).

*Боспорская сигиллата* образует компактную группу (по фактору 3), вне которой оказались лишь несколько фрагментов (рис. 7в): образцы 158b (венчик чаши с рудиментарной ручкой) и 137b (венчик чаши или миски) и 189b. Это подтверждается и результатами по фактору 2, где образец 137b также находится вне основной группы объектов. Вероятно, образец 137b не имеет отношения к боспорской сигиллате, а относится к продукции иного центра, для которой характер-

ны близкие визуальные характеристики глины и лака. Это вполне возможно, учитывая контекст, где он был найден – заполнение водо-распределительного помещения 176, в котором присутствует большое количество материала более раннего эллинистического времени. Именно выделение образца 158b из общей массы фрагментов боспорской сигиллаты заставило нас внимательно рассмотреть его и понять, что, несмотря на идентичность формы, он относится к другому центру производства. По всей видимости, этот сосуд имеет книдское происхождение (Knidian Gray Ware), а эта форма (carinated cup/bowl) послужила прототипом для создания одной из наи-

**Таблица 6.** Данные ИСП-АЭС и ИСП-МС о примесях и следовых элементах в составе образцов боспорской сигиллаты (мкг/г)

| мкг/г | 161b | 182b   | 189b   | 215b   | 84b  | 137b | 158b | 223b   | 211b    | 212b   |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|--------|---------|--------|
| Li    | 51.1 | 39.98  | 47.70  | 62.05  | 45.3 | 59.5 | 61.1 | 52.53  | 59.29   | 53.25  |
| Be    | 1.82 | 2.38   | 2.24   | 2.14   | 9.64 | 2.6  | 2    | 1.96   | 1.89    | 2.10   |
| P     | 759  | 720.60 | 848.78 | 641.58 | 195  | 2800 | 1010 | 594.30 | 1065.79 | 699.74 |
| Sc    | 17.2 | 14.96  | 14.65  | 13.90  | 5.41 | 14   | 15.8 | 16.30  | 13.82   | 14.74  |
| V     | 94.6 | 109.35 | 81.66  | 93.55  | 29.2 | 68.5 | 104  | 93.50  | 84.22   | 89.96  |
| Cr    | 239  | 105.25 | 93.56  | 86.15  | 55   | 77.5 | 148  | 108.40 | 93.03   | 91.22  |
| Mn    | 745  | 657.58 | 728.02 | 697.39 | 1020 | 923  | 724  | 785.10 | 692.57  | 690.13 |
| Co    | 28.7 | 21.37  | 19.44  | 18.62  | 11.4 | 22.2 | 21   | 19.35  | 18.80   | 19.23  |
| Ni    | 140  | 31.21  | 25.90  | 8.60   | <ПО  | 35.5 | 80.4 | 41.70  | 21.53   | 35.95  |
| Cu    | 40.3 | 30.13  | 51.79  | 41.87  | 32.3 | 52   | 47.7 | 38.32  | 34.67   | 39.23  |
| Zn    | 136  | 142.90 | 120.17 | 132.70 | 123  | 137  | 160  | 139.20 | 124.05  | 124.56 |
| Ga    | 17.5 | 21.08  | 16.94  | 18.82  | 27.7 | 21.5 | 20.4 | 20.03  | 18.49   | 19.83  |
| Ge    | 1.95 | 2.29   | 3.05   | 2.91   | 2.52 | 3.78 | 2.75 | 3.01   | 2.71    | 2.92   |
| Rb    | 102  | 91.46  | 72.01  | 74.72  | 213  | 86.6 | 108  | 81.89  | 80.83   | 78.51  |
| Sr    | 520  | 127.66 | 296.68 | 207.86 | 224  | 279  | 319  | 238.10 | 317.04  | 245.84 |
| Y     | 16.6 | 18.34  | 17.43  | 15.66  | 29.3 | 16.8 | 20.2 | 20.11  | 15.94   | 17.41  |
| Zr    | 60.7 | 84.42  | 81.62  | 76.26  | 427  | 68.1 | 67.7 | 83.73  | 67.89   | 77.25  |
| Nb    | 16.2 | 22.83  | 17.48  | 15.09  | 68   | 20.1 | 17.7 | 17.88  | 16.86   | 17.81  |
| Mo    | 0.35 | 1.09   | 1.39   | 1.59   | 2.8  | 2.23 | 1.35 | 1.64   | 1.14    | 1.38   |
| Pd    | 0.7  | 0.71   | 1.03   | 0.82   | 1.17 | 0.99 | 0.86 | 0.79   | 0.63    | 0.62   |
| Ag    | 0.64 | 0.39   | 6.37   | 0.69   | 1    | 1.29 | 0.52 | 0.93   | 0.64    | 0.99   |
| Cd    | 0.3  | 0.27   | 0.24   | 0.19   | 0.28 | 0.39 | 0.36 | 0.18   | 0.16    | 0.15   |
| Sn    | 2.27 | 2.70   | 3.14   | 2.41   | 4.98 | 3.27 | 2.45 | 3.03   | 2.12    | 2.19   |
| Sb    | 0.75 | 0.89   | 0.93   | 0.81   | 2.46 | 1.16 | 0.9  | 0.91   | 0.76    | 0.78   |
| Cs    | 5.73 | 6.36   | 4.44   | 5.10   | 21.5 | 5.46 | 6.33 | 5.10   | 4.82    | 4.47   |
| Ba    | 549  | 392.84 | 728.92 | 372.87 | 360  | 517  | 348  | 420.30 | 413.38  | 412.17 |
| La    | 23.4 | 31.38  | 23.75  | 25.55  | 82   | 26.5 | 24.4 | 28.33  | 26.71   | 25.37  |
| Ce    | 48.8 | 70.03  | 53.60  | 58.07  | 200  | 60.6 | 51.7 | 59.47  | 54.07   | 59.79  |
| Pr    | 5.51 | 7.32   | 5.60   | 6.08   | 14.5 | 6.13 | 5.83 | 6.61   | 6.23    | 6.37   |
| Nd    | 18.9 | 29.68  | 21.69  | 22.06  | 44.7 | 22.8 | 21   | 24.63  | 23.57   | 24.29  |
| Sm    | 3.73 | 5.20   | 4.25   | 4.18   | 6.78 | 4.07 | 4.35 | 5.27   | 4.52    | 4.67   |
| Eu    | 0.9  | 1.06   | 0.94   | 0.95   | 0.97 | 1    | 1    | 1.07   | 0.92    | 1.03   |
| Gd    | 3.98 | 5.30   | 4.37   | 4.35   | 6.25 | 4.44 | 4.22 | 5.36   | 5.00    | 5.11   |
| Tb    | 0.51 | 0.62   | 0.55   | 0.56   | 0.88 | 0.58 | 0.55 | 0.64   | 0.55    | 0.67   |
| Dy    | 2.89 | 3.42   | 3.01   | 2.95   | 4.68 | 3.2  | 3.42 | 3.55   | 3.02    | 3.24   |
| Ho    | 0.53 | 0.65   | 0.58   | 0.51   | 0.91 | 0.61 | 0.66 | 0.65   | 0.52    | 0.60   |
| Er    | 1.48 | 1.71   | 1.56   | 1.38   | 2.61 | 1.48 | 1.78 | 1.77   | 1.36    | 1.65   |
| Tm    | 0.21 | 0.23   | 0.22   | 0.19   | 0.43 | 0.24 | 0.24 | 0.24   | 0.21    | 0.25   |

Таблица 6. Окончание

| мкг/г | 161b   | 182b   | 189b   | 215b   | 84b    | 137b   | 158b   | 223b   | 211b   | 212b   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Yb    | 1.37   | 1.51   | 1.47   | 1.21   | 2.73   | 1.34   | 1.61   | 1.76   | 1.37   | 1.50   |
| Lu    | 0.2    | 0.24   | 0.24   | 0.19   | 0.42   | 0.21   | 0.26   | 0.27   | 0.21   | 0.22   |
| Hf    | 1.24   | 1.84   | 1.73   | 1.56   | 6.49   | 1.47   | 1.58   | 1.89   | 1.35   | 1.79   |
| Ta    | 0.96   | 1.26   | 1.06   | 0.88   | 3.3    | 1.87   | 1.21   | 1.04   | 0.89   | 0.84   |
| W     | 1.47   | 1.73   | 1.40   | 1.22   | 5.77   | 1.75   | 1.58   | 1.65   | 1.44   | 1.50   |
| Tl    | 0.21   | 0.38   | 0.22   | 0.26   | 1.11   | 0.2    | 0.41   | 0.25   | 0.28   | 0.27   |
| Pb    | 14.7   | 15.95  | 20.49  | 16.15  | 52.9   | 15.9   | 14.9   | 16.97  | 16.29  | 15.82  |
| Bi    | 0.31   | 0.90   | 0.30   | 0.28   | 0.36   | 0.29   | 0.36   | 1.01   | 0.21   | 0.28   |
| Th    | 6.26   | 8.15   | 6.90   | 6.85   | 46     | 6.42   | 7.39   | 8.22   | 6.88   | 8.07   |
| U     | 1.21   | 1.68   | 1.67   | 1.44   | 3.33   | 2.34   | 1.68   | 1.68   | 1.57   | 1.63   |
| РЗЭ   | 167.36 | 191.64 | 153.91 | 157.81 | 402.61 | 164.00 | 157.08 | 176.02 | 158.00 | 166.92 |

Примечание. <ПО – количество элемента меньше предела обнаружения.

более распространенных форм боспорской сигиллаты – кубков-скифосов [6, с. 293].

Загадкой является отдаление от основной группы на обоих графиках (фактор 3 и фактор 2) фрагмента 189b – чаши с ручкой. До настоящего времени существовала полная уверенность в его боспорской принадлежности. Его отличие от остальных образцов – следы орнамента белой краской по наружной поверхности. Судя по результатам анализа, можно говорить об определенных отличиях в составе глины именно этого фрагмента, имеющего дополнительный орнамент.

Результаты исследований боспорской сигиллаты по фактору 2 (рис. 7г) помимо отмеченного образца 137b отделяют от основной группы два образца – упомянутый фрагмент 189b и, неожиданно для нас – фрагмент 182b. Интересно, что образец 182b – это единственный в коллекции экземпляр со следами керамического брака, и его находка в Пантикапее, по логике, лишь подтверждает его боспорское происхождение. Но от остальных сосудов боспорской сигиллаты его отличают нехарактерный цвет глины и отсутствие в ней видимых глазом известковых включений. Изначально предполагалось, что эти изменения были вызваны именно характером обжига, который привел к появлению брака. Таким образом, можем исключить его из числа сосудов боспорской сигиллаты и переместить его в группу изделий неизвестного центра.

Результаты исследования понтийской сигиллаты также оказались неожиданными (рис. 7д, 7е). Несмотря на предположения о значительной вариативности состава образцов, результаты АГК показали достаточно тесную группировку образцов, из которой выделились только три фрагмен-

та. Образец 394p – венчик чаши полусферической формы с отогнутым венчиком вполне мог быть произведен в другой мастерской, также изготавливавшей продукцию, которую относим к условным “понтийским” центрам. Особенности лакового покрытия – характерные подтеки более темного тона под венчиком наряду с формой сосуда и визуальными характеристиками глины – не оставляют сомнений в верной атрибуции этого фрагмента как понтийской сигиллаты.

Образец 426p обладает всеми характерными признаками понтийской сигиллаты (очевидно, форма 2 по Д.В. Журавлеву [9, табл. 13–14]) – характер лакового покрытия и наличие на донце клейма *planta pedis*. Очевидно, он также был изготовлен в ином центре, но в рамках “понтийской” традиции.

Непопадание в группу образца 380p – донца неклассифицированной чаши, имеющей лаковое покрытие лишь с внутренней стороны, может быть связано с тем, что изначально этот сосуд был сопоставлен с сосудами понтийской сигиллаты лишь условно. Сейчас очевидно, что он не относится к этой группе, хотя и близок по ряду параметров.

Несмотря на ожидания, образец 411p не выделился из общего массива, хотя предполагали его отнесение к группе понтийской сигиллаты В [11]. Но наиболее удивительным стал факт попадания образцов непонтийского происхождения (302p + 374p и 397p + 427p) в общую группу. При этом присутствие в группе образца 198p (понтийская серая керамика) лишь подтверждает верность гипотезы о возможном изготовлении этой группы керамики в одних регионах с понтийской сигиллатой.

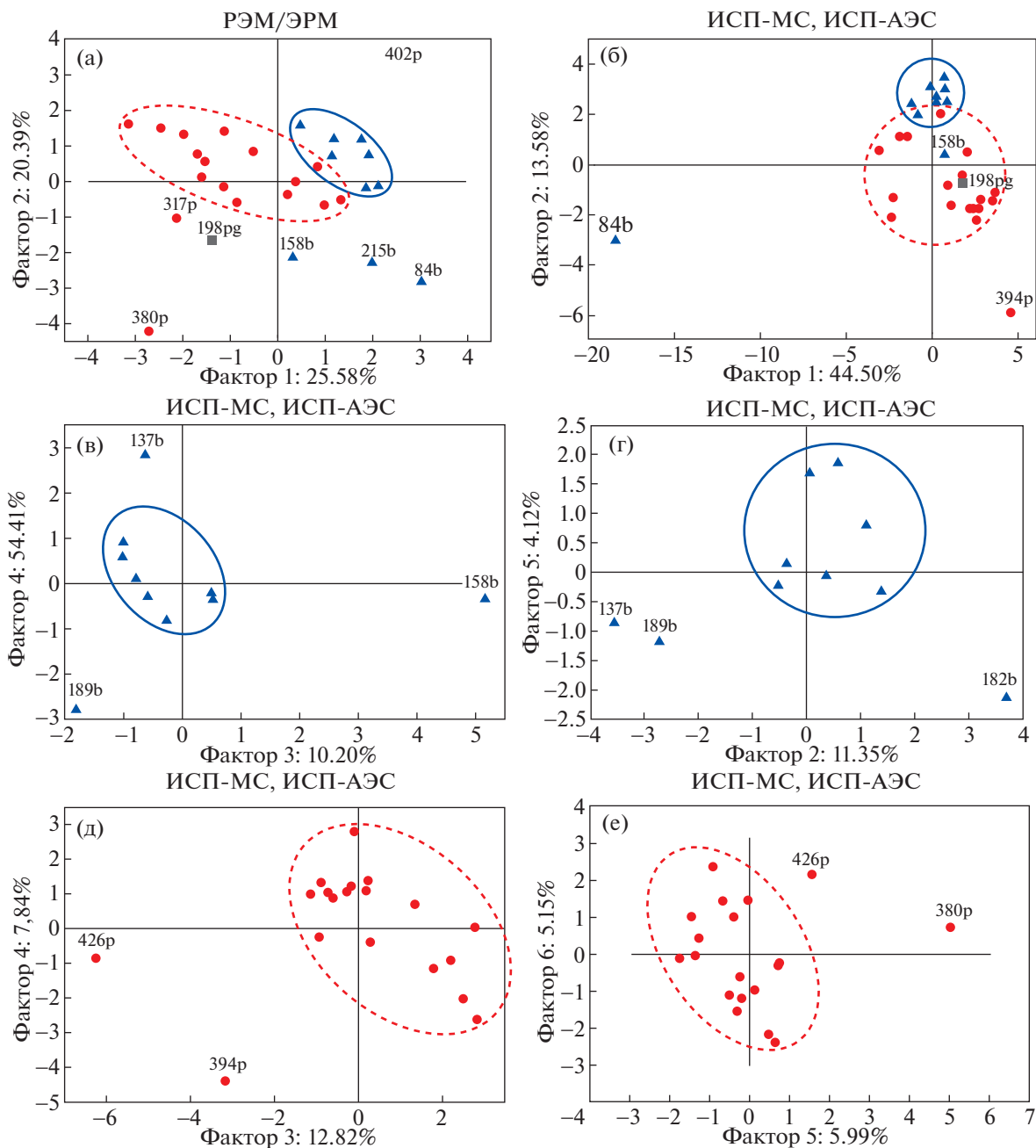
Таблица 7. Данные ИСП-АЭС и ИСП-МС о примесях и следовых элементах в составе образцов понтийской сиилллаты и понтийской серой керамики (мкг/г)

| мкг/г | 361p   | 290p   | 293p   | 304p   | 363p   | 374p   | 394p   | 396p   | 402p   | 426p   | 397p    | 299p   | 317p    | 73p    | 77p    | 379p    | 380p    | 411p   | 198pg   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Li    | 51.13  | 50.33  | 49.00  | 39.46  | 76.83  | 70.07  | 45.24  | 46.45  | 80.38  | 41.75  | 56.51   | 59.63  | 54.00   | 58.23  | 61.29  | 52.42   | 59.63   | 46.49  | 48.52   |
| Be    | 1.82   | 2.08   | 2.45   | 1.65   | 3.03   | 2.30   | 2.37   | 2.22   | 2.55   | 2.45   | 2.25    | 1.68   | 2.45    | 2.36   | 2.94   | 2.58    | 1.85    | 2.07   | 1.92    |
| P     | 759.36 | 829.97 | 950.50 | 981.50 | 552.19 | 492.68 | 449.90 | 657.20 | 612.45 | 159.96 | 1075.38 | 533.83 | 1080.42 | 408.90 | 356.04 | 1083.68 | 1848.51 | 839.90 | 1186.30 |
| Sc    | 17.21  | 20.42  | 21.90  | 18.30  | 17.30  | 17.01  | 18.90  | 20.40  | 22.51  | 18.81  | 17.13   | 16.90  | 19.63   | 22.10  | 20.38  | 18.52   | 17.82   | 17.00  | 16.90   |
| V     | 94.56  | 128.25 | 141.01 | 128.40 | 112.39 | 110.45 | 113.60 | 122.60 | 124.25 | 149.83 | 121.03  | 93.00  | 84.53   | 108.90 | 111.79 | 77.78   | 98.50   | 95.40  | 107.30  |
| Cr    | 239.24 | 266.96 | 122.51 | 108.30 | 99.91  | 92.21  | 499.60 | 116.70 | 102.54 | 72.44  | 139.57  | 226.99 | 170.26  | 131.70 | 127.77 | 178.68  | 242.65  | 140.60 | 141.65  |
| Mn    | 745.10 | 783.73 | 540.45 | 591.00 | 761.92 | 601.48 | 754.20 | 589.90 | 661.86 | 808.41 | 539.86  | 634.78 | 610.72  | 734.50 | 631.87 | 828.73  | 690.04  | 536.60 | 852.70  |
| Co    | 28.74  | 31.76  | 25.95  | 30.66  | 20.91  | 17.80  | 49.56  | 27.73  | 17.11  | 15.65  | 17.49   | 25.55  | 20.91   | 32.08  | 26.97  | 28.94   | 29.62   | 20.72  | 28.28   |
| Ni    | 140.43 | 179.06 | 121.41 | 69.10  | 58.91  | 94.20  | 724.60 | 90.50  | 85.73  | 118.85 | 61.27   | 143.59 | 59.19   | 66.60  | 44.66  | 66.87   | 140.68  | 83.90  | 87.15   |
| Cu    | 40.30  | 42.75  | 50.05  | 53.89  | 42.14  | 45.59  | 60.30  | 48.80  | 45.59  | 33.81  | 44.21   | 35.51  | 41.73   | 57.27  | 53.10  | 61.37   | 203.01  | 50.71  | 40.44   |
| Zn    | 136.38 | 110.28 | 111.72 | 130.32 | 104.16 | 118.31 | 109.18 | 115.66 | 124.56 | 87.95  | 94.94   | 128.18 | 105.39  | 158.42 | 148.63 | 160.58  | 150.81  | 129.99 | 138.25  |
| Ga    | 17.49  | 19.65  | 20.81  | 20.23  | 21.43  | 21.97  | 18.22  | 21.81  | 23.20  | 23.19  | 19.99   | 15.93  | 21.17   | 26.50  | 26.63  | 21.66   | 18.76   | 18.92  | 18.31   |
| Ge    | 1.95   | 2.45   | 2.23   | 2.58   | 2.04   | 1.80   | 2.17   | 2.30   | 2.29   | 2.18   | 1.74    | 1.85   | 3.03    | 2.78   | 3.01   | 3.38    | 2.33    | 2.22   | 1.89    |
| Rb    | 101.90 | 110.43 | 124.66 | 115.29 | 126.78 | 131.73 | 105.22 | 107.85 | 135.98 | 83.26  | 107.45  | 92.52  | 77.22   | 139.92 | 143.15 | 80.72   | 93.89   | 75.04  | 96.27   |
| Sr    | 519.86 | 538.13 | 472.75 | 397.00 | 255.93 | 178.05 | 281.00 | 339.20 | 199.98 | 334.72 | 345.66  | 488.89 | 687.23  | 377.90 | 372.13 | 622.42  | 482.14  | 717.90 | 317.25  |
| Y     | 16.60  | 17.41  | 17.59  | 17.48  | 17.92  | 18.57  | 14.77  | 18.87  | 19.63  | 15.02  | 15.32   | 13.46  | 15.93   | 20.80  | 20.31  | 16.59   | 16.32   | 16.00  | 16.61   |
| Zr    | 60.73  | 58.91  | 54.03  | 58.26  | 66.23  | 75.88  | 51.74  | 51.27  | 84.08  | 98.03  | 57.76   | 46.08  | 86.95   | 54.37  | 61.91  | 97.27   | 56.26   | 84.51  | 66.70   |
| Nb    | 16.16  | 20.02  | 16.99  | 18.18  | 23.70  | 24.19  | 18.69  | 18.65  | 25.68  | 29.81  | 18.18   | 14.41  | 19.58   | 19.35  | 19.59  | 21.29   | 16.72   | 17.46  | 15.83   |
| Mo    | 0.35   | 0.44   | <ПО    | 0.57   | 0.59   | 0.56   | 0.30   | 0.67   | 0.74   | 0.93   | 1.34    | 0.81   | 0.76    | 0.66   | 0.87   | 0.82    | 0.68    | 1.06   | 1.15    |
| Pd    | 0.70   | 0.82   | 0.57   | 0.99   | 0.79   | 0.68   | 0.57   | 0.65   | 0.80   | 0.72   | 0.60    | 0.65   | 1.29    | 0.82   | 1.04   | 1.26    | 0.77    | 0.91   | 0.81    |
| Ag    | 0.64   | 0.48   | 0.52   | 0.57   | 0.52   | 0.54   | 0.56   | 0.49   | 0.44   | 0.50   | 1.32    | 0.51   | 1.18    | 0.75   | 1.05   | 1.62    | 1.66    | 0.53   | 0.49    |
| Cd    | 0.30   | 0.17   | 0.31   | 0.39   | 0.16   | 0.14   | 0.24   | 0.28   | 0.24   | 0.13   | 0.25    | 0.17   | 0.33    | 0.29   | 0.35   | 0.39    | 0.25    | 0.29   | 0.17    |
| Sn    | 2.27   | 2.50   | 2.84   | 3.02   | 3.08   | 3.28   | 2.49   | 2.82   | 3.21   | 2.29   | 2.05    | 2.48   | 2.79    | 4.47   | 3.66   | 2.98    | 4.05    | 2.18   | 2.62    |
| Sb    | 0.75   | 0.64   | 0.62   | 0.66   | 0.89   | 0.80   | 0.66   | 0.61   | 0.90   | 0.67   | 0.73    | 0.65   | 1.10    | 0.93   | 0.90   | 1.07    | 0.81    | 0.99   | 0.92    |
| Cs    | 5.73   | 6.48   | 6.71   | 5.39   | 8.06   | 8.66   | 6.13   | 5.88   | 9.35   | 4.09   | 7.01    | 5.73   | 11.56   | 7.31   | 6.92   | 11.08   | 5.94    | 8.95   | 6.36    |

Таблица 7. Окончание

| мкг/г | 361p   | 290p   | 293p   | 304p   | 363p   | 374p   | 394p   | 396p   | 402p   | 426p   | 397p   | 299p   | 317p   | 73p    | 77p    | 379p   | 380p   | 411p   | 198pg  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ba    | 548.53 | 330.56 | 507.25 | 749.40 | 667.17 | 449.38 | 259.60 | 368.00 | 509.80 | 554.58 | 353.52 | 309.80 | 234.35 | 424.50 | 349.55 | 246.85 | 448.09 | 234.60 | 330.45 |
| La    | 23.39  | 23.13  | 24.90  | 21.84  | 32.69  | 30.82  | 20.78  | 24.60  | 36.30  | 25.21  | 22.28  | 21.89  | 22.41  | 34.98  | 33.01  | 22.22  | 23.07  | 20.94  | 25.56  |
| Ce    | 48.81  | 52.45  | 59.23  | 51.73  | 79.29  | 72.88  | 48.60  | 63.16  | 89.13  | 51.88  | 53.64  | 42.86  | 46.23  | 73.86  | 70.10  | 50.83  | 46.22  | 40.97  | 51.35  |
| Pr    | 5.51   | 5.40   | 6.13   | 5.14   | 7.95   | 6.92   | 4.44   | 6.22   | 8.58   | 5.79   | 5.27   | 4.84   | 5.05   | 7.81   | 7.60   | 5.36   | 5.20   | 4.63   | 5.76   |
| Nd    | 18.90  | 19.90  | 21.64  | 20.75  | 28.80  | 25.82  | 18.74  | 23.55  | 32.52  | 29.82  | 20.93  | 18.40  | 20.13  | 30.24  | 29.52  | 19.72  | 19.58  | 18.41  | 21.32  |
| Sm    | 3.73   | 3.87   | 4.55   | 4.03   | 5.09   | 4.83   | 3.47   | 4.29   | 5.96   | 4.21   | 4.02   | 3.42   | 3.92   | 5.22   | 5.13   | 3.97   | 3.91   | 3.84   | 4.03   |
| Eu    | 0.90   | 0.90   | 0.91   | 0.89   | 1.12   | 0.96   | 0.85   | 0.96   | 1.15   | 0.98   | 0.91   | 0.83   | 0.94   | 1.18   | 1.17   | 0.99   | 0.95   | 0.93   | 0.90   |
| Gd    | 3.98   | 4.44   | 4.86   | 4.46   | 5.13   | 4.86   | 3.61   | 4.87   | 5.48   | 4.02   | 4.29   | 3.66   | 4.25   | 5.54   | 5.44   | 3.91   | 4.16   | 3.94   | 4.16   |
| Tb    | 0.51   | 0.61   | 0.69   | 0.58   | 0.71   | 0.67   | 0.49   | 0.68   | 0.70   | 0.57   | 0.55   | 0.44   | 0.55   | 0.71   | 0.74   | 0.51   | 0.78   | 0.53   | 0.49   |
| Dy    | 2.89   | 2.84   | 3.05   | 2.99   | 3.29   | 3.26   | 2.76   | 3.44   | 3.96   | 2.69   | 2.82   | 2.42   | 2.79   | 3.73   | 3.55   | 2.92   | 2.83   | 2.75   | 2.91   |
| Ho    | 0.53   | 0.57   | 0.59   | 0.53   | 0.64   | 0.82   | 0.51   | 0.61   | 0.67   | 0.50   | 0.54   | 0.48   | 0.56   | 0.76   | 0.71   | 0.56   | 0.56   | 0.53   | 0.54   |
| Er    | 1.48   | 1.56   | 1.60   | 1.55   | 1.56   | 1.74   | 1.30   | 1.60   | 1.89   | 1.39   | 1.34   | 1.26   | 1.47   | 1.94   | 2.19   | 1.47   | 1.50   | 1.41   | 1.47   |
| Tm    | 0.21   | 0.22   | 0.23   | 0.24   | 0.23   | 0.26   | 0.20   | 0.25   | 0.29   | 0.21   | 0.20   | 0.18   | 0.22   | 0.27   | 0.28   | 0.22   | 0.20   | 0.19   | 0.21   |
| Yb    | 1.37   | 1.32   | 1.35   | 1.35   | 1.43   | 1.71   | 1.24   | 1.53   | 1.65   | 1.24   | 1.20   | 1.04   | 1.24   | 1.60   | 1.47   | 1.47   | 1.31   | 1.21   | 1.32   |
| Lu    | 0.20   | 0.19   | 0.22   | 0.22   | 0.22   | 0.23   | 0.19   | 0.23   | 0.25   | 0.17   | 0.19   | 0.17   | 0.19   | 0.25   | 0.27   | 0.22   | 0.22   | 0.21   | 0.20   |
| Hf    | 1.24   | 1.42   | 1.29   | 1.43   | 1.71   | 1.83   | 1.23   | 1.19   | 1.76   | 2.06   | 1.49   | 1.04   | 1.77   | 1.26   | 1.32   | 1.87   | 1.26   | 1.71   | 1.38   |
| Ta    | 0.96   | 1.27   | 1.00   | 1.42   | 1.21   | 1.28   | 0.98   | 1.21   | 1.08   | 1.36   | 1.01   | 0.95   | 1.30   | 1.40   | 1.31   | 1.38   | 1.02   | 1.01   | 0.99   |
| W     | 1.47   | 1.65   | 1.75   | 1.79   | 1.96   | 1.87   | 1.37   | 1.78   | 2.13   | 4.88   | 1.91   | 1.15   | 1.14   | 1.59   | 1.99   | 1.27   | 1.43   | 1.20   | 1.27   |
| Tl    | 0.21   | 0.12   | 0.51   | 0.50   | 0.58   | 0.58   | <ПО    | 0.51   | 0.65   | 0.46   | 0.41   | 0.14   | 0.28   | 0.34   | 0.52   | 0.31   | 0.05   | 0.29   | 0.34   |
| Pb    | 14.71  | 12.54  | 27.68  | 15.96  | 20.29  | 19.06  | 17.10  | 15.09  | 22.36  | 21.24  | 19.33  | 16.81  | 16.11  | 20.34  | 20.75  | 17.57  | 21.30  | 13.93  | 15.74  |
| Bi    | 0.31   | <ПО    | 1.18   | 0.34   | <ПО    | <ПО    | 0.40   | 0.33   | 0.39   | 2.26   | 0.29   | 0.13   | 0.37   | 0.23   | 0.44   | 0.16   | 0.14   | 0.24   | 0.05   |
| Th    | 6.26   | 5.91   | 7.70   | 7.11   | 9.54   | 10.50  | 6.62   | 9.69   | 11.81  | 8.40   | 7.87   | 5.31   | 5.48   | 10.29  | 10.83  | 5.44   | 6.36   | 5.61   | 6.59   |
| U     | 1.21   | 1.33   | 1.95   | 1.64   | 2.03   | 2.00   | 1.39   | 1.90   | 2.31   | 2.11   | 1.88   | 1.25   | 1.04   | 2.40   | 2.57   | 0.90   | 1.75   | 0.93   | 2.29   |
| PЗЭ   | 146.25 | 155.24 | 169.43 | 152.07 | 203.36 | 191.38 | 140.85 | 175.26 | 230.67 | 162.51 | 150.64 | 132.24 | 145.51 | 210.98 | 201.87 | 149.47 | 144.64 | 133.47 | 153.72 |

Примечание. &lt;ПО — количество элемента меньше предела обнаружения.



**Рис. 7.** Результаты анализа методом АГК данных о составе: всей совокупности образцов методом РЭМ/ЭРМ (а) и ИСП-АЭС/ИСП-МС (б); отдельно для групп боспорской (в, г) и понтийской (д, е) сигиллаты. Круги и пунктирная линия – понтийская сигиллата, треугольники и сплошная линия – боспорская, квадрат – понтийская серая.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенные исследования образцов боспорской и понтийской сигиллаты выявили ряд характерных особенностей микроструктуры образцов. В частности, у большинства образцов на поверхности наблюдается тонкий слой (0.02–0.03 мм) повышенной электронной плотности, соответствующий областям сохранившегося лакового слоя.

Для образцов понтийской сигиллаты характерна выраженная неоднородность материала в виде тонких более поглощающих слоев, хаотично расположенных в объеме проб. По анализу пористости (максимального размера и медианы распределения) можно сделать вывод, что качество боспорских образцов в целом заметно ниже понтийских, хотя образцы с крупными дефектами и включениями есть в обеих группах.

Таблица 8. Факторы АГК для данных о составе боспорской и понтийской сигиллаты

| Образцы   | Рисунок | Фактор АГК | Компоненты факторов – наиболее существенный вклад элементов (отн. %) |  |  |
|---|---------|------------|--|--|--|
|   |         |            | >10  | 5–10   | 1–5  |
| Понтийская и боспорская сигиллаты, понтийская серая | 5а      | Ф1         | Ca (22.3), Si (16.9), Al (16.3), Cl (12.5)                           | Mg (9.2), K (7.7)  | S (3.5), Fe (3.4), Ti (3.0), Na (2.5), P (2.0)   |
|   |         | Ф2         | Mn (27.9), P (20.0), K (15.2), S (11.7)                              | Na (8.8)   | Ti (4.8), Fe (3.3), Cl (3.3), Mg (2.9), Ca (1.0), Si (1.0)   |
|   | 5б      | Ф1         |  | {P3Э, Pr, La} – (5.9) Ce (5.8), Th (5.5), Nd (5.2), {Y, Nb} – (5.0)  | {Sm, Zr} – (4.8), Pb (4.7), K (4.0), Gd (3.8), Rb (3.7), Cs (3.3), Ga (3.2), Al (3.1), Sn (3.0), Na (2.1), Sc (1.8), {Ca, Mn, Co, V, Cr, Sr, Ti, Fe} – (1.5–1.2) |
|   |         | Ф2         | Si (12.7), Cr (10.0)   | Co (9.0), Ca (8.2), Ni (7.7), Fe (7.7), Mg (6.6),                    | Sr (4.9), Cs (3.8), Rb (3.8), Ba (3.7), K (3.3), Ag (2.4), Sc (2.0), Al (1.9), Sn (1.5), Cu (1.3), {Pb, P} – (1.0)   |
| Боспорская сигиллата                                | 5в      | Ф3         | Ca (17.2), Zn (14.8), Ni (14.2), Cr (11.7)                           | Si (9.8), Ba (6.0)   | Mg (3.2), Y (3.1), {Li, Ag} – (3.0), Sr (2.6), Rb (2.3), Al (1.6), Ga (1.5), K (1.3)   |
|   |         | Ф4         | Ag (21.9), P (10.5), Si (16.7)                                       | Fe (7.6), Ba (7.2)   | Ga (4.8), Mn (4.1), Co (3.9), Li (3.7), Zn (2.8), Sr (2.1), Cr (1.4), Pb (1.0)   |
|   | 5г      | Ф2         | Cu (15.8), Sr (11.5)   | Ba (8.8), P (8.7), Fe (7.1), Na (5.8), Mn (5.5), V (5.2)             | Ag (4.3), {Ca, Ti} – (4.2), Gd (4.1), Li (3.7), Sm (2.8), Sn (1.9), Cr (1.2), Zn (1.1)   |
|   |         | Ф5         | Li (28.0)  | Ba (9.6), Co (7.2), Ti (6.8), Sr (6.1), Zn (5.9), Ni (5.7), Sn (5.2) | Ag (4.9), Fe (3.2), P (2.7), Cr (2.3), Sc (1.5), Y (1.4), Cu (1.2), {Na, V} – (1.0)  |
| Понтийская сигиллата                                | 5а      | Ф3         | Zn (11.6)  | V (8.6), Na (7.8), Cs (7.0), Sn (6.8), {P, Ag} – (6.0)               | Si (4.7), Nb (4.2), Ti (4.1), Sr (4.0), Ca (3.9), Y (3.7), Ni (3.6), Cu (3.3), K (2.6), Mg (2.2), Gd (1.8), Ba (1.4), Li (1.3)                                   |
|   |         | Ф4         | Fe (17.2), Ni (11.3), Cr (10.3)                                      | Ba (8.2), Co (7.8), Mg (6.4), Mn (6.1)                               | Sc (4.0), Ga (3.3), Ag (3.1), Cs (2.5), Ti (2.4), Nb (2.2), {P, Ca} – (2.0), {Al, K, Zr} – (1.8–1.9), Sn (1.5), V (1.3)  |
|   | 5б      | Ф5         | Cu (26.8), Ag (13.3)   | P (9.5), Pb (5.4)  | {Sc, Sn} – (4.9), {Si, Ca} – (4.1), Na (4.0), Ba (3.4), Mn (3.0), Cs (2.6), Fe (2.0), Y (1.7), {Li, Ti, Sr} – (1.5–1.6), Zn (1.3), Gd (1.2)                      |
|   |         | Ф6         | Li (20.1), Sc (11.4), V (10.7)                                       | Cs (7.9), Al (6.1), Ga (5.8)   | Sr (4.3), Ti (3.0), {Na, Ce} – (2.7), Ca (2.5), Fe (2.1), Cr (2.0), La (1.6), {Mn, Ni, Cu} – (1.4), Sn (1.3), {Si, Y, Pr} – (1.0)                                |

Статистический анализ содержания основных компонентов и микропримесей позволил выделить ряд образцов из обеих групп, отнеся их к другим производственным центрам. В группе *боспорской сигиллаты* образец 158b, предположительно, имеет книдское происхождение, а его форма послужила прототипом для создания одной из наиболее распространенных форм боспорской сигиллаты — кубков-скифосов; образцы 182b и 137b, которые по результатам данных исследований предполагается исключить из числа сосудов боспорской сигиллаты как изделия неизвестных центров.

В группе *понтитийской сигиллаты* выделившиеся образцы не так однозначно определяются:

— образец 394p мог быть произведен в другой мастерской, также изготовлявшей продукцию, которую относят к условным “понтитийским” центрам, так как особенности лакового покрытия наряду с формой сосуда и визуальными характеристиками глины не оставляют сомнений в верной атрибуции этого фрагмента как понтитийской сигиллаты;

— образец 426p также обладает всеми характерными признаками понтитийской сигиллаты — и лаковое покрытие, и наличие на донце клейма *planta redis*, поэтому он также мог быть изготовлен в ином центре, но в рамках “понтитийской” традиции;

— отличие образца 380p (донца неклассифицированной чаши), вероятно, связано с тем, что изначально этот сосуд был сопоставлен с сосудами понтитийской сигиллаты лишь условно.

Остается открытым вопрос о причине попадания образцов непонтитийского происхождения (302p + 374p и 397p + 427p) в общую группу понтитийской сигиллаты, что требует более детального исследования и дальнейшего накопления данных о статистически значимой выборке образцов.

Включение в общую группу образцов понтитийской сигиллаты фрагмента понтитийской серой керамики 198p подтверждает верность гипотезы о возможном изготовлении этой группы керамики в одних регионах с понтитийской сигиллатой.

Таким образом, комплементарное применение локальных и интегральных методов анализа состава и микроструктуры образцов позволило определить характерные особенности боспорской и понтитийской сигиллаты, уточнить происхождение ряда об-

разцов, тем самым подтверждая эффективность предложенной методики исследования аналогичных объектов культурного наследия.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии № 075-15-2023-010 от 21.02.2023 (15.СИН.21.0024).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тереженко Е.Ю., Антипин А.М., Кварталов В.Б. и др.* // Кристаллография. 2022. Т. 67. № 4. С. 660. <https://doi.org/10.31857/S0023476122040178>
2. *Domžalski K.* // Archeologia (Warsaw) 47. 1996. P. 95.
3. *Zhuravlev D.* // Ancient civilizations from Scythia to Siberia. 2002. V. 8. № 3–4. P. 237.
4. *Журавлев Д.В.* // Antiquitas aeterna. Поволжский антиковедческий журнал. 2005. № 1. С. 235.
5. *Домжальски К., Журавлев Д.В.* // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Материалы IV Боспорских чтений. Керчь. 2003. С. 89.
6. *Журавлев Д.В., Смокотина А.В.* // Боспорский феномен: Большие и малые города Боспорского царства. Круглый стол, посвященный 75-летию Е.А. Молева (1947–2021). Матер. междунар. науч. конф. СПб: ИПЦ СПбГУПТД. 2022. С. 288.
7. *Gasparri C.* Sigillata Orientali // Studi Miscellanei. Ostia II – Le Terme del Nuotatore. Scavo dell’ambiente V. De Luca Editore – ROME / Eds. di F. Berti et al. 1970. 16. P. 66.
8. *Hayes J.W.* Sigillate Orientali // Ceramica fine Romana nel Bacino Mediterraneo (tardo ellenismo e primo imperio), Atlante delle forme ceramiche II, Enciclopedia dell’arte antica, classica e orientale. Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma. 1985. 406 p.
9. *Журавлев Д.В.* // Краснолаковая керамика Юго-Западного Крыма первых веков н.э. (по материалам позднескифских некрополей Бельбекской долины). Симферополь. 2010. Suppl. 9. С. 325.
10. *Журавлев Д.В.* // АΝΑΧΑΡΣΙΣ. Памяти Юрия Германовича Виноградова. Херсонесский сборник. Вып. XI. / Ред. Золотарев М.И. Севастополь. 2001. С. 90.
11. *Журавлев Д.В.* // Западная Таврида в истории и культуре древнего и средневекового Средиземноморья. Матер. IV науч.-практ. конф. Симферополь: ИТ “Ариал”, 2022. С. 123.