

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (ICP-MS, LA-ICP-MS) И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ (SEM) ИССЛЕДОВАНИЯ

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) как метод изучения древней керамики

Технология масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (inductively coupled plasma mass-spectrometry) стала доступна в последней четверти XX в. (Montaser, 1998). Первоначально ICP-MS анализ использовался в естественнонаучных исследованиях с целью идентификации различных объектов путем измерения масс и относительных содержаний ионизированных частиц в их веществах. Впоследствии он стал активно привлекаться для решения археологических задач, в том числе связанных с изучением керамических производств (Pillay, 2001; Hein et al., 2002; Robertson et al., 2002; Little et al., 2004).

Основная сфера применения метода ICP-MS-исследования, нацеленные на идентификацию привозных изделий в керамическом наборе памятника и определение центров производства гончарной продукции, – так называемые provenance studies в зарубежной традиции. В основе метода лежит принцип определения редких, редкоземельных (REE)¹ и ряда основных элементов в химическом составе формовочной массы (далее – ФМ) образцов археологической керамики: Li, Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th, U. Метод относится к прецизионным и позволяет определять минимальные концентрации веществ, количество которых измеряется в граммах на тонну (ppm², подробнее о методике см. Светов и др., 2015). Содержание редких и редкоземельных элементов в составе вещества является его уникальной геохимической характеристикой, обладающей высокой идентификационной способностью. При выборе методики геохимического исследования керамики средневековых памятников Карелии сделан акцент на обнаружении маркерных элементов в образцах ФМ керамических изделий и пробах глинистого сырья из предполагаемых источников, использовавшихся в древнем гончарстве. При классификации глинистого материала необходимо учитывать данные количественного содержания элементов-

¹ Rare earth elements (англ.).

² Parts per million (англ.).

примесей в составах, но не породообразующих петрогенных элементов (такие как SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 и др.), так как в образцах глин различных месторождений их концентрации нередко оказываются близкими. Поэтому для получения достоверной информации о близости или отличии изучаемых объектов необходимо учитывать различия в количественных содержаниях маркерных элементов. Исследования выполнены на квадрупольном масс-спектрометре X-SERIES 2 (Thermo scientific) в Аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН³.

Принципиальная возможность применения метода ICP-MS к изучению образцов древней керамики обусловлена спецификой исследуемого материала. Формовочная масса сосуда, по сути, является мультиминеральным объектом, искусственно созданным человеком. Исходя из того, что в древнем гончарном производстве (особенно в Средневековье), как правило, использовалось минеральное сырье (глина, песок, дресва), ФМ керамики представляет собой систему, появившуюся в результате смешения горных пород различного состава и происхождения. В грубом обобщении она близка геологическим формациям, но в отличие от последних является не природным образованием, а продуктом человеческой деятельности. По этим соображениям методы геохимического и минералогического анализов видятся адекватными инструментами решения археологических задач, сопряженных с изучением технологий древних гончарных производств.

ICP-MS анализ гончарной керамики средневековых городищ Северо-Западного Приладожья

В отечественной науке методика масс-спектрометрического анализа впервые опробована на средневековой керамике и использована для определения привозной и местной продукции на городищах Северо-Западного Приладожья, а также для идентификации центров керамического производства (Поташева, Светов, 2013, 2014; Сумманен, 2014; Поташева, 2015; Хорошун, Сумманен, 2015)⁴. Помимо сугубо теоретического интереса к проведению экспериментальных исследований древней керамики с применением новейших методик геохимического анализа, еще не внедренных в инструментарий российской археологии, привлечение ICP-MS анализа к изучению посуды памятников Северо-Западного Приладожья обосновано необходимостью решения проблем средневековой археологии Карелии. Специфические топографические характеристики большинства укрепленных поселений (настоящее издание, с. 96) исключали возможность размещения гончарных мастерских в пределах их площадей, что подтверждается данными раскопок. В связи с этим мы не располагаем доказательствами, свидетельствующими

³ Выражаем глубокую признательность сотрудникам ИГ КарНЦ РАН В. Л. Утицыной и А. С. Пармонову за помощь в проведении анализов.

⁴ В 2016–2018 гг. ICP-MS-исследования керамики средневековых памятников Карелии проводились при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16–36–00005, «Реконструкция технологий гончарного производства средневековой Карелии (X–XV вв.) на основе использования новейших методов геохимического анализа (SEM, ICP-MS, LA-ICP-MS)», рук. И. М. Сумманен).

в пользу принадлежности найденной на памятниках керамики продукции местного гончарства. Кроме того, на стадии визуального осмотра материала возникло предположение о наличии привозных изделий. Например, к таковым могли относиться сероглиняные горшки, представленные небольшими сериями, о которых говорилось ранее (см. с. 96 настоящего издания). По результатам типологического и технологического анализов определены отдельные сосуды и группы изделий, обладающие отличными характеристиками (нетипичная профилировка, техника орнаментации, исходное пластичное сырье), что вполне могло являться следствием их изготовления за пределами изучаемого ареала. Допущение о наличии привозных сосудов в коллекции закономерно, учитывая близость городищ к средневековым центрам (Новгород, Орешек) и активные торговые связи местного населения с близлежащими территориями.

Масс-спектрометрический анализ образцов ФМ гончарной керамики применялся для решения трех основных задач: идентификации местной и привозной продукции, определения места изготовления сосудов и локализации центра производства светлоглиняных изделий. В соответствии с перечисленными задачами аналитические исследования проводились в три этапа.

На первом этапе ICP-MS анализ осуществлен с целью разделения керамической продукции на местную и привозную. Первоначально для этой задачи отобрано 52 образца (Поташева, Светов, 2013; табл. 1, № 1–52), впоследствии выборка увеличилась до 99 проб. Из них 76 представлены фрагментами восстановленных гончарных сосудов (59 шт. из ожелезненной глины; 17 шт. из слабо- и неожелезненной глины), большей частью принадлежащих к хронологически и морфологически дифференцируемым типам. Кроме проб, взятых с археологической керамики, потребовались референтные образцы глинистого сырья из предполагаемых источников, которые могли использоваться в Средневековье. Для этого произведен забор 13 проб глин с территории Республики Карелия: восемь образцов отобраны в Приладожье в пос. Куркиёки близ городища Лопотти (табл. 1, № 50, 52, Лахденпохский р-н); поселках Реускула (№ 71) и Хелюля (№ 72, 73) рядом с Паасо (Сортавальский р-н), урочище Проланваара (№ 149, Суоярвский р-н), г. Олонце⁵ (№ 51). Кроме того, получены пробы глин из пос. Матросы (№ 104, Пряжинский р-н), с. Видлица (№ 146, Олонецкий р-н), пос. Кончезеро (№ 147, Кондопожский р-н), пос. Чкаловский (№ 150, Беломорский р-н) и урочища Пичево (№ 148, Прионежский р-н). Эталонами для образцов посуды Паасо и Тиверска послужили фрагменты глиняной обмазки фундаментов жилищ (№ 49, № 70 в табл. 1). Обмазывание глиной каменного фундамента – типичный прием домостроительства в средневековой Карелии, поэтому возможно предположить, что глина для обмазки добывалась где-то неподалеку от поселений. За пределами территории Карелии собраны образцы глинистого сырья из Великого Новгорода (№ 53), Старой Ладogi (№ 208), урочища Гнильное (№ 209, устье р. Свири, Ленинградская обл.), с. Винницы (№ 157, Подпорожский р-н, Ленинградская обл.), бассейна р. Вуоксы (№ 145, окрестности пос. Васильево,

⁵ Авторы выражают благодарность гончару Р. Леонтьеву (г. Олонец) за предоставленный материал.

Приозерский р-н, Ленинградская обл.). Таким образом, количество референтных образцов глинистого сырья составило 20 штук. Для эксперимента в аналитическую выборку также включены пробы ФМ сосудов из раскопок древнего Олонца (№ 43, 90) и Твери (№ 207).

Визуальный анализ результатов масс-спектрометрического исследования приведен на вариационных диаграммах. Как правило, двухкомпонентные диаграммы строятся для элементов, демонстрирующих контрастное поведение в природных процессах, что иллюстрирует различия групп изучаемых объектов по химическому составу. Для образцов керамики наиболее информативными оказались бинарные системы Ti-V, Ti-Y, La-Th, Ti- Σ REE (ppm), в которых фигуративные точки образцов формируют три области с разными концентрациями элементов (рис. 1; приведены данные 2013 г.). Их обособление можно интерпретировать как свидетельство существования трех групп керамики (рис. 2; диаграмма отображает результаты аналитических исследований 2013–2018 гг.), материал для изготовления которых, несомненно, имел различные геохимические характеристики, что может быть следствием использования в гончарном деле сырья различных по минералого-геохимическому составу и типу месторождений.

Группа I (см. рис. 1, 2) представлена маркерами керамики из ожелезненной глины, в которую также попала большая часть эталонных образцов. Близость расположения фигуративных точек и их приуроченность к одной зоне свидетельствует о схожести их химического состава. Материал для этих сосудов добывался из одного источника, который по праву может быть отнесен к местным выходам глины. Не удивительно, что в поле группы I оказался маркер образца из Старой Ладogi (СтЛ-208), химический состав которого близок глинам Северо-Западного Приладожья. Показательно, что фигуративные точки образцов глин, собранных за пределами территории Карелии, локализируются на периферии и вне поля I. В то же время, на основании визуального анализа взаиморасположения фигуративных точек эталонных образцов чистых глин местного и неместного происхождения, можно констатировать относительную близость их химических составов, что затрудняет классификацию глинистого материала.

В группу II попали сосуды из светлоглиняной глины, найденные на Паасо, Терву-Линнасаари и в Тиверске. И хотя в большинстве случаев светлоглиняная керамика хорошо идентифицируется визуально, что не требует проведения специального исследования, диаграммы наглядно иллюстрируют качественные различия в химическом составе теста сосудов из ожелезненной и неожелезненной глины. Поле IIa (рис. 2) объединило две пробы позднегончарной белоглиняной посуды Лопотти. Она не случайно исключена из продукции традиционного гончарства корелы. Причиной тому стали не только очевидные отличия геохимического состава проб ФМ сосудов Лопотти в сравнении с городищенской посудой, но и их специфические типологические (поздняя датировка и, как следствие, более развитая форма изделий) и технологические (сырье – каолинистая глина, обжиг в восстановительной среде, отсутствие орнамента) характеристики.

Группа III (см. диаграммы Ti-Y, La-Th, Ti-ΣREE на рис. 1, 2) представлена четырьмя образцами керамики⁶. Это сосуды из ожелезненной глины с радикально отличающимся от эталонных проб и образцов ФМ местных изделий химическим составом (X-9, T-32, T-40 на диаграммах Ti-Y, La-Th, Ti-ΣREE, см. рис. 1; П-98 на диаграмме Ti-Y, рис. 2). Вошедший в группу III образец Ол-43 (см. диаграмму Ti-Y на рис. 1) является фрагментом сосуда из раскопок Олонецкой крепости XVII–XVIII вв., тогда как перекрывающий его маркер – проба глины с территории современного г. Олонца. Что касается упомянутых четырех образцов, то они принадлежат горшкам (X-9, T-32, T-40) и кувшину (П-98), которые, вероятно, не были изготовлены из местного сырья и попали на городища из других областей. Все они так или иначе выделяются из основной массы посуды. К примеру, раннегончарный сосуд конца X – первой половины XI в. (см. настоящее издание. Рис. 63: 1), украшен линейно-волнистым орнаментом почти на всю высоту, имеет небольшую толщину стенок (0,5–0,7 см) и нетипичный для остальной керамики режим обжига (неполный восстановительный). Горшок с ребристым профилем выделяется технологией формовки плечика, на котором есть рубчик, по-видимому, оставшийся от деревянного ножа в процессе быстрого вращения круга (см. настоящее издание. Рис. 71: 4). Еще один горшок, неорнаментированный и тонкостенный, отличается режимом обжига (неполный восстановительный) и качественной формовкой (см. настоящее издание. Рис. 71: 15). Кувшин, восстановленный по обломку горлышка, – редкая находка на городищах (см. настоящее издание. Рис. 73: 6). Небольшое количество изделий и их принадлежность к керамике разных типов не способствует выяснению обстоятельств, при которых сосуды оказались на городищах: их могли привезти как товар или тару при транспортировке продуктов.

Отмечу, что при визуальном осмотре гончарной керамики наряду с сосудами, вошедшими в группу III, были такие, которые по тем или иным признакам (морфология, технология) можно было принять за привозные (например, отдельные сосуды типов V и VI, см. настоящее издание. Рис. 70: 8, 10; 71: 9, 12; 72: 1 и редкие формы изделий). Но данные ICP-MS анализа показали, что по геохимическим характеристикам они соответствуют изделиям, сделанным из местных глин. Поэтому вполне вероятно, что их появление на городищах можно связывать с работой приезжих ремесленников.

В целом результаты первого этапа исследования оправдали применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для изучения геохимических составов проб керамики с целью выявления местной и привозной продукции. Установлено, что основная масса изделий произведена в Северо-Западном Приладожье с использованием ресурсов местной сырьевой базы. Метод ICP-MS

⁶Ранее к привозным изделиям был ошибочно отнесен сосуд редкой формы из Паасо под шифром П-19, отбившийся от группы маркеров местной керамики (Поташева, Светов, 2013, с. 141. Рис. 2). Полученные впоследствии результаты, основанные на аналитических исследованиях существенно более крупной серии образцов городищенской керамики, показали, что состав пробы П-19 соотносится с составами образцов городищенской посуды (рис. 2).

показал себя как эффективный инструмент, подходящий для решения археологических задач, связанных с проблемами соотношения гончарной продукции с центрами керамического производства. Метод удачно дополняет традиционную практику исследований древней керамики, преимущественно основанную на использовании типологического и технологического анализов, данные которых, зачастую полученные в процессе визуального фиксирования специфических признаков объекта, не всегда достоверны и порой могут нуждаться в проверке более точными методиками.

Главная задача второго этапа геохимических исследований состояла в определении места изготовления ранее идентифицированных привозных сосудов. Для этого произведено сопоставление данных геохимических составов проб сосудов городищ Северо-Западного Приладожья и образцов глин и керамики из Карелии и сопредельных регионов (Поташева, Светов, 2014). Отобраны образцы посуды и глин из древнего Новгорода⁷, крепости Орешек и с территории средневековых памятников Карелии в Лахденпохском, Сортавальском, Пряжинском и Прионежском районах (табл. 1, № 53–104). С учетом материалов первой серии ICP-MS-исследований проанализированы 104 пробы (по данным на 2014 г.).

В системах Nb-Zr, Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr (ppm) фигуративные точки образцов формируют как минимум четыре области (рис. 3). На диаграмме Nb-Zr четко выделяются пять групп маркеров. Остальные диаграммы (Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr) преимущественно иллюстрируют наличие групп I, II, IV и V.

Группу I составили образцы теста горшков из ожелезненной глины памятников Северо-Западного Приладожья, Орешка, Новгорода и все эталонные пробы сырья. Группа II представлена пробами теста светлоглиняных сосудов из раскопок древнекарельских городищ (Тиверск, Паасо, Терву-Линнасаари). Группа III – привозные горшки из ожелезненной глины с отличающимся химическим составом ФМ. Также как и в первой серии анализов, где пробы сопоставлялись по отношениям Ti-Y, La-Th, Ti-ΣREE, в группу III попали образцы с шифрами X-9, T-32, T-40 (см. диаграммы Nb-Zr, Ti-U на рис. 3, диаграмму Ti-U на рис. 4). В поле группы IV находятся маркеры белоглиняных горшков из Новгорода и Орешка. Группа V представлена образцами позднегончарной керамики из неожелезненной глины городища Лопотти.

Как отмечено мною выше, на диаграммах рис. 3 маркеры проб теста новгородских и ореховецких горшков из ожелезненной глины объединились в поле I, где находятся фигуративные точки образцов сосудов местного производства из Северо-Западного Приладожья, что, безусловно, требует пояснения. В то же время наглядно периферийное расположение маркеров ФМ новгородской и ореховецкой керамики внутри выделенного поля. Укрупнение масштаба диаграмм Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr до значений 6500 ppm по оси Ti позволяет сконцентрировать внимание на интересующих нас объектах в поле I (рис. 4). Видно, что маркеры городищенских горшков и сосудов из Новгорода и Орешка образуют две отдельные области,

⁷ Благодарим А. В. Шуреева за помощь в подборе образцов новгородских глин и керамики.

что исключает возможную ошибочную интерпретацию результатов на диаграммах рис. 3, где гончарную керамику Новгорода и Орешка можно принять за продукцию керамического производства Северо-Западного Приладожья.

Привлекает внимание факт приуроченности фигуративных точек образцов теста сосудов из ожелезненной глины Орешка и Новгорода к одной компактной зоне (поле *a*, рис. 4), однако имеющихся данных геохимических составов керамики и сырья данного региона пока не достаточно для объяснения этого явления. Кроме того, эталонный образец материковой глины Новгорода (Н-53) не обязательно попадает в область маркеров новгородской керамики, равно как и пробы глин из Северо-Западного Приладожья не всегда тяготеют к маркерам городищенских сосудов. Отчужденность эталонных проб глин от зон фигуративных точек образцов ФМ керамики (поле *b*, рис. 4), должно быть, обусловлена присутствием значительной доли минеральной примеси в последних, что объясняет несколько обособленное расположение фигуративных точек проб сырья, в основном лежащих в области тренда их распространения.

Увеличение масштаба диаграмм Ti-U, Ti-Zr позволило определить сосуд под номером П-74 (см. рис. 4), который хотя и не радикально, но отличается геохимическим составом от городищенской керамики. При этом на диаграммах Ti-U, Ti-Zr (см. рис. 4) четко видно, что маркер горшка из Паасо (П-74) перекрыт фигуративной точкой сосуда из Орешка. Важно, что изделия схожи как по геохимическим, так и по морфологическим характеристикам (рис. 5). Горшок из Паасо (см. настоящее издание. Рис. 72: 9) типологически не определен⁸, поскольку обладает специфической морфологией, не свойственной керамике городищ: он имеет своеобразную профилировку венчика, напоминающую горизонтально отраженную латинскую S. В Северо-Западном Приладожье данная форма является исключением, однако встречается в керамике Орешка XIV–XV вв.⁹ Типологическое сходство горшка из Паасо (П-74) с ореховецкими изделиями вкуче с данными геохимического анализа свидетельствуют в пользу его вероятного происхождения из Орешка.

В 2015–2018 гг. проведены дополнительные геохимические исследования, в ходе которых базу геохимических составов ФМ гончарной керамики Северо-Запада и центральной Руси дополнили образцы серо- и белоглиняной посуды из Москвы (табл. 1, № 195–206), Коломны (№ 180–189), Гжели (№ 190–194), Смоленска (№ 160–179) и Твери (№ 207). Анализ результатов представлен на наиболее информативной диаграмме Ti-Y (ppm), отражающей соотношение химических составов проб исследуемых групп керамики (рис. 6). Для наглядности выборка составлена исключительно пробами ожелезненных глин и образцами керамики, сделанной из этого сорта глин. Преобладающее количество фигуративных точек сформировали четыре области: *a* – ФМ керамики городищ Северо-Западного

⁸ В коллекции древнекарельских городищ только 11 из 169 горшков типологически не определены.

⁹ Подобные изделия обнаружены в материалах раскопок Орешка 1968 (О-68/46), 1973 (О-73/647, О-73/733, О-73/853) и 1979 гг. (О-79/637).

Приладожья и образцы сырья с территории Карелии; *б* – сосуды из Новгорода и Орешка; *в* – московская керамика и *г* – изделия из Смоленска. Маркеры проб ФМ керамики из Коломны оказались сильно разрозненными и не образовали единой компактной области. Маркеры привозных городищенских сосудов (Х-9, Т-32, Т-40, П-98), кроме образца из Паасо (П-74), находятся за пределами полей. Относительную близость геохимических составов, судя по расположению фигуративных точек на диаграмме, демонстрируют пробы ФМ керамики из Москвы, Смоленска и образцы Х-9 и Т-40. Но данное наблюдение не обосновывает возможность изготовления этих привозных изделий в указанных городах. Поэтому установить производственный адрес для привозных сосудов (кроме П-74), обнаруженных при раскопках городищ Северо-Западного Приладожья, пока остается затруднительным.

Геохимические исследования последних лет направлены на изучение не менее сложного вопроса, касающегося происхождения светлоглиняной керамики на городищах. Данные сравнительного анализа химических составов ФМ светлоглиняных сосудов из Тиверска, Паасо, Терву-Линнасаари, Лопотти и белоглиняной керамики из Новгорода и Орешка не подтвердили их сходство (Поташева, Светов, 2014, с. 75). Хотя ранее именно эти города рассматривались в качестве вероятных центров производства светлоглиняной посуды, обнаруженной в Северо-Западном Приладожье (Поташева и др., 2013, с. 48). Составы образцов сосудов городищенской и новгородско-ореховецкой групп существенно различаются, несмотря на частичное соприкосновение полей маркеров групп II и IV, что фиксируется на диаграмме Nb-Zr (см. рис. 3). Задача определения производственного адреса для светлоглиняных горшков городищ также осложняется отсутствием референтных образцов сырья – беложгущейся глины, источники которой на территории Карелии практически не встречаются¹⁰. Поэтому следующим этапом исследований стал поиск производственных центров, где могла быть изготовлена светлоглиняная керамика приладожских крепостей посредством изучения составов ФМ готовой продукции (Сумманен, 2018а).

С этой целью для геохимического анализа отобраны пробы ФМ белоглиняной керамики средневековых городов центра Древней Руси – Москвы, Коломны, Гжели и Смоленска (23 шт., табл. 1)¹¹. Так, с учетом данных по составам ФМ керамики Северо-Западного Приладожья, Новгорода и Орешка базу для аналитических исследований составили 46 образцов. Помимо них, для получения сведений о химических характеристиках глин центральной Руси в целях пополнения базы данных геохимических составов сырья, взяты четыре образца каолинистых глин из Орловской (табл. 1, № 152), Воронежской (№ 153) и Липецкой (№ 154, 155) областей.

Графический анализ результатов приведен на бинарных диаграммах Ti-Zr, Ti-U (ppm), иллюстрирующих различия химических составов образцов светлоглиняной керамики городищ и белоглиняных изделий городов северо-западной и центральной

¹⁰ Подробнее о месторождениях беложгущейся (каолинистая) глины в Карелии см. с. 232.

¹¹ Выражаем благодарность Н. А. Кренке, В. Ю. Ковалю, А. С. Сыроватко за любезно предоставленный материал для исследований.

Руси в содержаниях Ti, Zr и U (рис. 7). По особенностям геохимических характеристик образцы разделились на четыре группы. Первую составили пробы теста белоглиняных изделий Гжели, Москвы и Смоленска; во вторую вошли образцы керамики из Коломны; в третью – фигуративные точки белоглиняных сосудов Новгорода и Орешка; последняя группа представлена маркерами светлоглиняной посуды древнекарельских городищ.

Значительное отчуждение поля фигуративных точек проб светлоглиняной керамики городищ от остальных групп маркеров белоглиняных изделий свидетельствует о существенных расхождениях в их геохимических составах. Столь различное содержание примесных редких и редкоземельных элементов является достаточным основанием для разграничения исследуемых образцов по типу происхождения. Ввиду этого ряд древнерусских городов с ремесленным производством белоглиняной посуды можно исключить из потенциально возможных центров изготовления светлоглиняных изделий, обнаруженных на городищах Северо-Западного Приладожья.

Полагаю, что результаты масс-спектрометрических исследований могут рассматриваться как дополнительный аргумент в пользу предположения о производстве светлоглиняной керамики в Северо-Западном Приладожье. При отсутствии надежных свидетельств, указывающих на наличие местного ремесленного производства керамики в целом (глинища, заготовки сырья, теплотехнические устройства, бракованные изделия и т. д.), которые имели бы ключевое значение при решении данного вопроса, есть ряд обстоятельств, при которых городищенскую керамику из светложгущейся глины следует считать местной. Среди них, помимо данных естественнонаучных исследований, можно привести как общие наблюдения за технологией изготовления светлоглиняных изделий: по технологическим параметрам они схожи с сероглиняными горшками (неполный окислительный обжиг, признаки РФК-3–4, присутствие минеральной примеси в тесте), так и более частные, на примере отдельных сосудов, о чем говорилось выше (см. настоящее издание, с. 91–92).

Керамика памятников средневековой Карелии X–XII вв. по данным ICP-MS-исследований

Памятники X–XII вв. на территории Карелии и граничащей с ней Ленинградской области представлены различными в культурном и типологическом отношении объектами. Напомню, что это погребения курганной культуры в Юго-Восточном Приладожье, охотничье-рыболовецкие поселения в бассейне Онежского озера и юго-западном Прибеломорье, а также селища догородищенского периода в Северо-Западном Приладожье. Материалы их раскопок в основном содержат лепную керамику, но в курганах имеется представительная коллекция гончарных изделий.

Положительный опыт геохимических исследований круговой керамики побудил использовать метод ICP-MS для изучения посуды указанных групп памятников (Сумманен, Светов, 2017а, б). Помимо решения ряда задач по идентификации

привозных изделий и изучению химического состава ФМ керамики различных групп памятников, полученные результаты применены в сравнительном анализе технологий изготовления лепной керамики курганов Юго-Восточного Приладожья и селищ юго-восточной Карелии и Прибеломорья, проводимого с целью определения культурной принадлежности последних (подробнее о дискуссии по вопросу происхождения охотничье-рыболовецких селищ см. настоящее издание. С. 46, 61–62).

Серия включила 46 образцов (табл. 1) ФМ средневековых лепных сосудов дотиверского поселения в Северо-Западном Приладожье (№ 105–108), охотничье-рыболовецких селищ Прионежья и Прибеломорья (№ 109–127), поселения Мантсинсаари в северо-восточном Приладожье (№ 128), курганных групп северного побережья Онежского озера Чёлмужи (№ 129, 130) и Кокорино (№ 132, 133), селища (№ 131) и курганов Юго-Восточного Приладожья (№ 135–140), а также образцы теста гончарных изделий из приладожских местонахождения (№ 134) и погребений (№ 141–144). В качестве эталонных использованы пробы глинистого сырья (№ 145–150) с территории Карелии и Ленинградской области. Также учтены данные химических составов глин, полученные в 2013 (№ 49–52) и 2014 (№ 70–73, 104) годах при исследовании гончарной керамики.

Наиболее наглядными представляются диаграммы Nb-Zr и Ba-Zr (ppm), построенные для всего массива данных (рис. 8: *а, б*) и отдельно для концентраций маркерных элементов в пробах чистых глин (рис. 8: *в, г*).

На диаграмме Nb-Zr (рис. 8: *а, 1*) обособленную группу составили образцы лепной керамики селища (КЗ-131) и курганов Юго-Восточного Приладожья (ЮВП-135–140). На диаграмме Ba-Zr (рис. 8: *б, 1*) большинство маркеров этих образцов также расположено отстраненно. Пробы ФМ гончарных сосудов из курганов локализовались компактно, не дистанцировавшись от поля лепной керамики, но находясь в крайней верхней части скопления фигуративных точек (рис. 8: *а, 3, б, 3*). К группе образцов круговой керамики тяготеет и маркер гончарного сосуда памятника Подпорожье IV (Пп-134, рис. 8: *а, 3, б, 3*).

За пределами (диаграмма Nb-Zr, рис. 8: *а, 2*) или на периферии (диаграмма Ba-Zr, рис. 8: *б*) области маркеров лепных сосудов охотничье-рыболовецких селищ (юго-восточная Карелия и Прибеломорье) оказались фигуративные точки ФМ сосудов из погребений в Чёлмужах (Ч-129, Ч-130), отдаленных от основного ареала памятников Приладожской курганной культуры.

На диаграмме Ba-Zr (рис. 8: *б, 4*) отчетливо выделилась группа лепных сосудов из догородищенских слоев Тиверска (Северо-Западное Приладожье), хотя на диаграмме Nb-Zr (рис. 8: *а, 4*) маркеры лепных дотиверских сосудов и курганной гончарной керамики частично совпали. На этой же диаграмме (рис. 8: *б*) от основного скопления образцов лепной керамики памятников юго-восточной Карелии и Прибеломорья отделился маркер горшка поселения Малая Пога I (МП-125).

В целом результаты геохимических исследований лепной керамики оказались менее наглядными, чем в случае с гончарной посудой городищ Северо-Западного

Приладожья. Причиной тому, по-видимому, стала относительная близость геохимического состава сырья, используемого в гончарном производстве населения бассейна Ладожского и Онежского озер. Подтверждением этой догадки стал сравнительный анализ проб сырья, проведенный отдельно для образцов чистых глин, полученных с территории Республики Карелия и Приозерского района Ленинградской области (рис. 8: в, з). Как видно на диаграммах, классифицировать глинистое сырье различных месторождений в пределах выбранного региона затруднительно, так как фигуративные точки проб глин с территории бассейнов Онежского и Ладожского озер в большинстве своем располагаются хаотично.

Наблюдения за распределением маркерных элементов в химических составах образцов ФМ средневековой лепной посуды исследуемых групп памятников позволяет сделать следующие выводы. Близость расположения фигуративных точек лепных сосудов из приладожских курганов и маркера горшка местонахождения Подпорожье IV (см. настоящее издание, с. 134. Рис. 1, № 195) может косвенно указывать на его принадлежность курганной посуде, и, возможно, на его производство в Юго-Восточном Приладожье, откуда впоследствии сосуд попал на памятник.

Геохимический анализ выявил небольшое различие между составами ФМ керамики чёлмужских курганов и охотничье-рыболовецких селищ, что фиксируется по отчужденности проб Ч-129, Ч-130 на диаграмме Nb-Zr (рис. 8: а). Данную картину нельзя интерпретировать однозначно; возможно, отличие химического состава чёлмужской керамики обусловлено характеристиками сырья указанного района. Но, учитывая близость курганной группы Чёлмужи памятниками Белозерья (см. настоящее издание, с. 23), можно предположить, что отличие составов образцов Ч-129 и Ч-130 может быть связано со своеобразием традиций гончарства населения, оставившего курганы на северном побережье Онежского озера.

На диаграмме Ba-Zr (рис. 8: б) сосуд под шифром МП-125 оказался далеко за пределами области маркеров керамики охотничье-рыболовецких селищ, что, на первый взгляд, могло бы указывать на его привозное происхождение. Тем не менее при построении диаграмм наблюдалась спонтанная отбивка единичных маркеров, что не сопровождалось их систематическим отделением при смене переменных (сравниваемые элементы), поэтому сосуд под шифром МП-125 преждевременно относить к привозным.

Примечательно, что маркеры сосудов, которые по данным сравнительно-типологического анализа можно считать привозными или изготовленными по облику привозной керамики (илл. см. настоящее издание: в коллекции охотничье-рыболовецких селищ – К-122, см. рис. 44: 3, Б-123, см. рис. 45: 7; в курганной посуде – ЮВП-135, см. рис. 6: 17, ЮВП-137, см. рис. 6: 12), не отделяются от проб рассматриваемых групп изделий. Учитывая отсутствие резких отличий в химическом составе ФМ этих сосудов и остальной керамики, можно с осторожностью предположить, что они были изготовлены из местного сырья и, вероятно, на территории памятников, но не носителями охотничье-рыболовецкой или курганной культур, а пришлыми мастерами.

В целом химический состав проб ФМ выделенных групп керамики памятников Северо-Западного, Юго-Восточного Приладожья, бассейнов Онежского озера и юго-западного Прибеломорья сравнительно однообразный, что, наиболее вероятно, объясняется сходством составов глин различных месторождений в пределах изучаемой территории.

ICP-MS анализ: возможности и ограничения метода, интерпретация результатов

Проведенные исследования оправдали выбор методики прецизионного геохимического анализа керамических изделий для решения археологических задач, связанных с изучением древних гончарных производств. Вместе с тем необходимо обозначить трудности, с которыми пришлось столкнуться в ходе работы, обусловленные как новизной и инновационным характером разрабатываемого направления, так и спецификой археологической керамики.

Формовочная масса сосуда является гетерогенным объектом, состоящим по меньшей мере из двух компонентов (для керамики эпохи Средневековья): пластичной основы (глина) и примеси-отошителя (минеральная добавка – песок, дресва). Эти материалы представлены горными породами различного происхождения и обладают индивидуальными геохимическими характеристиками. Напомню, что один из начальных этапов подготовки проб для ICP-MS анализа заключается в их измельчении до мелкодисперсной пылевидной массы, вследствие чего происходит полное смешивание глины с отошителем, и в анализатор прибора попадает валовой состав образца. Поэтому уже на ранних стадиях ICP-MS-исследований возникло предположение, что на состав пробы и, как следствие, расположение фигуративных точек на бинарных диаграммах (что учитывается при оценке и дальнейшей интерпретации данных), может влиять концентрация минерального отошителя (Поташева, Светов, 2013, 2014; Сумманен, 2015).

Таким образом, одно из направлений геохимических исследований состояло в анализе возможностей и ограничений самого метода, оценке степени достоверности полученных результатов и корректности их интерпретации. Исследовательская задача, обусловленная необходимостью отследить влияние концентрации минерального отошителя на валовой состав пробы ФМ, решалась двумя способами: применением метода математического моделирования и заменой масс-спектрометрии валовых составов (ICP-MS) альтернативной методикой масс-спектрометрии с лазерным отбором проб (LA-ICP-MS).

Использование метода математического моделирования объектов для обработки результатов ICP-MS анализа: распределение элементов-примесей в химическом составе образца в зависимости от концентрации его компонентов (глина/песок/дресва)

Метод математического моделирования образцов ФМ средневековой керамики применен для проверки результатов ICP-MS-исследований и сделанных на их основании выводов о принадлежности гончарной продукции тому или

иному производственному центру (Сумманен, 2017; Сумманен, Светов, 2017б). В рамках этого направления изучались два основных вопроса: как концентрация компонентов формовочной массы (глина/дресва) влияет на содержание редких и редкоземельных элементов в валовом составе образца и зависит ли она от вида (песок/дресва) введенного в глину минерального отощителя.

Аналитические исследования выполнены на материалах городищ Северо-Западного Приладожья, которые изучены в значительно больших объемах, чем керамика других памятников средневековой Карелии. Подготовительная часть работ заключалась в проведении ICP-MS анализа образцов сырья (глина и минеральный отощитель, которые могли использоваться в древнем гончарстве) с территории северо-западного побережья Ладоги. За пластичную основу теста взята проба ожелезненной глины, отобранной вблизи Тиверского городища (Приозерский р-н, Ленобласть); в качестве минеральной примеси (дресва) – образец скального массива возвышенности Паасонвуори (г. Сортавала, Республика Карелия). Таким образом, состав математической модели имитировал керамическую формовочную массу, состоящую из различных пропорций ожелезненной глины и дресвы. Из этих двух компонентов методом математического моделирования рассчитан химический состав эталонных формовочных масс по модели механического смешения: компонент А (глина) + компонент Б (горная порода, используемая как отощитель) в пропорции от $0,1A+0,9B$ до $0,9A+0,1B$ (с интервалом в концентрациях = 0,1). Весь эталонный тренд двухкомпонентных ФМ отражает модели образцов с концентрацией глины/дресва в пропорции от 1/0 и в обратном порядке. Графический анализ результатов приведен на бинарных диаграммах, демонстрирующих возможный диапазон химического тренда для заданной системы.

На диаграмме Ti-Y (ppm) (рис. 9) вертикальный диапазон тренда модельных образцов формовочных масс с различной пропорцией глины/дресва включил поле маркеров проб местной керамики (рис 9: а, взяты составы лепной и гончарной керамики Тиверского городища). Предлагаемая модель позволяет прогнозировать область рассеивания фигуративных точек в зависимости от любых пропорций смешения компонентов ФМ, при условии, что использовалось местное сырье из известных источников, а ФМ была двухкомпонентной. Тогда образцы, выходящие за область рассеивания маркеров, определенно обладают отличными геохимическими характеристиками, которые не связаны с концентрацией отощителя в тесте, а обусловлены спецификой технологии керамического производства (возможно, использование других видов или увеличение числа компонентов ФМ).

Кроме того, визуальный анализ результатов позволяет провести оценку влияния вида минерального отощителя (на примере песок/дресва) на содержание маркерных элементов в составе образца. На диаграмме (рис. 9: а) фигуративные точки образцов керамики как с песчаной, так и дресвяной примесью не обособились друг от друга и локализовались в пределах одного поля. Поэтому по предварительным данным можно предположить, что химический состав местных изделий с разными

видами минерального отощителя будет укладываться в диапазон возможных отклонений по концентрациям маркерных элементов, зафиксированный для посуды из местного сырья, тогда как фигуративные точки привозных изделий, напротив, должны располагаться за пределами допустимого диапазона. Вероятно, концентрация и вид минеральной примеси (при условии, что сырье добывалось из местных источников) не оказывают существенного влияния на содержание маркерных элементов в составе образца, что могло бы привести к ложным заключениям при интерпретации результатов.

Масс-спектрометрия с лазерным отбором проб (LA-ICP-MS) как альтернатива масс-спектрометрии валовых составов (ICP-MS)

Проблема оценки степени влияния концентрации отощителя на распределение маркерных элементов в составе пробы ФМ также изучалась с использованием методики масс-спектрометрии с лазерным отбором проб (LA-ICP-MS). Масс-спектрометрия с лазерной абляцией широко используется в современных геологических исследованиях (подробнее см.: Светов и др., 2015) и нередко применяется археологами для определения составов ФМ древней керамики (Robertson et al., 2002; Dussubieux et al., 2007; Хорошун, 2015). До осуществления исследований, сочетающих методы геохимического анализа и математического моделирования, о которых говорилось в предыдущем разделе, предполагалось, что метод LA-ICP-MS может стать эффективной заменой масс-спектрометрии валовых составов (ICP-MS). Причиной тому виделась методика отбора проб, которая является основным отличием этих двух методов. Так, LA-ICP-MS анализ позволяет исследовать образец с помощью точечного определения химического состава путем испарения вещества лазерным лучом из пришлифованной поверхности образца керамики. Площадь забора пробы составляет от 30 до 100 мкм, что, как ожидалось, идеально подходит для анализа химических составов глинистой и минеральной фракции в отдельности. Помимо этого, метод является более экспрессным, чем ICP-MS, при котором процесс подготовки проб требует больших временных затрат, что немаловажно при исследовании такого массового материала, как археологическая керамика.

Методика LA-ICP-MS опробована на образцах гончарной керамики городищ Северо-Западного Приладожья (Сумманен, Светов, 2017б), ранее подвергнутых геохимическому (Поташева, Светов, 2013, 2014) и минералогическому (Поташева и др., 2013; Сумманен и др., 2016, 2017) анализам. Для исследования отобрано 20 образцов средневековой гончарной керамики из раскопок городищ Северо-Западного Приладожья из ожелезненной и неожелезненной глины и проба сосуда из Великого Новгорода. Из них 18 представлены образцами формовочных масс сосудов местного производства: пять сделаны из неожелезненной глины (М-1, М-2, М-15, М-25, М-26) и 13 – из ожелезненной глины (М-3, М-4, М-8, М-12–14, М-16, М-17, М-19, М-20, М-23, М-27, М-28). Одна проба принадлежит привозному сосуду из ожелезненной глины (М-5, см. настоящее издание. Рис. 63: 1), идентифицированному по данным ICP-MS-исследований;

другая – новгородскому горшку (материалы из коллекции раскопок Великого Новгорода, Нутный раскоп, 2010 г.) из ожелезненной глины (М-6).

В ходе исследования получено 83 точечных анализа вещества глинистой основы и отошцающей минеральной примеси. Для получения статистически корректных данных делалось два анализа глинистой основы и два анализа примесной фракции (отошитель). Для некоторых образцов (с четкой границей зон прокаленного и непрокаленного теста) исследовалась приповерхностная (полностью прокаленная) зона черепка (М-1, М-2, М-6). Необходимо отметить, что для одной точки анализа проводится три измерения концентраций редких и редкоземельных элементов, при этом в таблице с исходными данными автоматически приводятся как отдельные значения по каждому из трех измерений, так и средний результат. Помимо этого, для каждого показателя концентрации химического элемента приводится значение относительного отклонения (точность определения в %) от стандарта измерений. При интерпретации данных LA-ICP-MS использована та же методика, что и при оценке данных ICP-MS (Поташева, Светов, 2013, 2014): графический анализ результатов (рис. 10) приведен на бинарных диаграммах Ti-Y, Ti-Zr, Nb-Zr (ppm). На диаграмме Ti-Y, построенной для составов глинистых основ формовочных масс керамики с учетом данных всех измерений, наблюдается четкое выделение маркеров двух образцов ФМ – сосуда из Великого Новгорода и белоглиняного (каолинитовый) сосуда из коллекции городища Лопотти, что согласуется с данными проведенного ранее ICP-MS-исследования. Тем не менее проба привозного сосуда (М-5) вошла в поле маркеров керамики местного производства. Маркеры проб светлоглиняной керамики локализовались преимущественно отдельным полем, хотя фигуративные точки некоторых сосудов (М-15, М-25) несколько отделились от него.

Для диаграмм Ti-Zr, Nb-Zr (рис. 10) учтены средние значения концентраций редких и редкоземельных элементов. Данные этих наблюдений оказались более противоречивыми. Так, в поле маркеров городищенских сосудов из каолинитовых глин вошел образец новгородской керамики из ожелезненной глины. Привозной сосуд М-5 по геохимическим характеристикам глинистой основы оказался тождествен керамики местного производства. Для пробы светлоглиняного сосуда типа Лопотти (М-26) данные ICP-MS и LA-ICP-MS совпали: маркер значительно удалился от других групп керамики.

LA-ICP-MS-исследование зерен минеральной примеси в ФМ демонстрирует аналогичную ситуацию: наблюдается частичное совпадение результатов с данными ICP-MS. Например, диаграмма Ti-Y (рис. 11) хорошо иллюстрирует существенное отличие материала примесной фракции привозного сосуда М-5 от материала дресвы местной керамики; в то же время состав второго анализа зерна примеси с этой же пробы совпал с составами местных образцов. Зафиксированы отдельные случаи отклонения составов примесной фракции местных образцов от характерного им диапазона значений (например, пробы М-2, М-23, М-13). Вместе с тем очевидно отличие геохимического состава дресвы новгородского

образца (М-6). На диаграммах Ti-Zr, Nb-Zr (для усредненных значений, рис. 11) показательно отчуждение маркеров привозного (М-5) и новгородского сосудов (М-6), но на них также фиксируются случаи «отбивки» маркеров дресвы образцов сосудов местного производства.

Подводя итог, можно констатировать, что точечный анализ геохимических составов компонентов ФМ средневековой керамики методом LA-ICP-MS уступает по эффективности масс-спектрометрии валовых составов (ICP-MS). Вопреки ожиданиям, основанным на предположении, что более тонкая методика отбора проб будет существенно результативнее, искомая прецизионность метода стала скорее его недостатком, нежели преимуществом. Однако данное обстоятельство является не ограничением самого метода, но следствием его применения к исследованию принципиально нового объекта, т. е. древней керамики, представляющей собой продукт искусственного смешения материалов различного происхождения. Так, пластичную основу ФМ составляет глина – горная порода осадочного происхождения, имеющая сложный минералогический, и, как следствие, геохимический состав. Глинистую основу большинства исследуемых нами образцов образуют глины иллит-монтмориллонитового состава, для которых также характерен (в отличие, например, от каолиновых глин) мультиминеральный состав. По этим причинам использование метода масс-спектрометрии с лазерным отбором для изучения образцов керамики проб сопровождается рядом сложностей. Наиболее очевидные из них связаны с возможностью захвата вещества за пределами исследуемой области (например, попадание частиц глинистой матрицы при исследовании зерен отощителя в поле абляции), что не всегда можно отследить посредством визуального контроля изображения электронного микроскопа. Но более существенно то, что неоднородность минерального состава самих глин, при условиях забора вещества с микроскопической площади, может привести к получению существенно различающихся составов в пределах одного образца. Анализ минеральной фракции представляется еще более сложной задачей, так как для получения максимально корректных данных, исследуемые объекты (включения дресвы) предварительно необходимо анализировать для установления их минерального состава и только после этого переходить к анализу объектов одного типа на разных образцах. Проще говоря, измерять концентрацию редких и редкоземельных элементов нужно в одном типе минералов, например, только в кварце или в калиевом полевоом шпате.

При исследовании химических составов глиняных изделий прецизионность LA-ICP-MS метода приводит к ситуации, когда излишняя детализация препятствует пониманию глобальной картины. Инструментальная экспрессность метода, к сожалению, не оправдывается при изучении средневековой керамики, специфика которой так или иначе требует существенных временных затрат при отборе и подготовке образцов. Основываясь на опыте проведенных исследований, масс-спектрометрию валовых составов (ICP-MS) можно считать более эффективным инструментом изучения средневековой керамики памятников Карелии, чем метод LA-ICP-MS.

Изучение составов формовочных масс средневековой керамики Карелии методом сканирующей электронно-зондовой микроскопии (SEM)

В геологической классификации глины, являвшиеся основным сырьем для производства керамики, относятся к тонкозернистым горным породам осадочного происхождения. Этот материал повсеместно встречается в природе и, как правило, его добыча не составляет большого труда. Для гончарства средневековой Карелии характерно использование различных по происхождению, химическому и минеральному составу видов глин, что отразилось на керамических наборах памятников различных историко-культурных типов. Коллекции X–XIII вв. из курганов, селищ и укрепленных поселений содержат только сероглиняную керамику, изготовленную из ожелезненной глины; в XIV вв. на городищах появляются светлоглиняные изделия из слабо- и неожелезненных глин.

Сырье, пригодное для производства керамики из ожелезненных глин, широко распространено на территории Карелии и в прилегающих областях (рис. 12). Большинство известных месторождений приурочены к бассейнам Ладожского и Онежского озер, юго-западному побережью Белого моря, с которыми совпадает расположение ареалов средневековых памятников (см. настоящее издание. Рис. 1). В Северо-Западном Приладожье крупные месторождения глины находятся в Лахденпохском (Лумиваара¹², Хийтольское) и Сортавальском (Хелюльское, Куокканиемское) районах. В бассейне Онежского озера запасы глинистого сырья промышленных объемов имеются в Пудожском (Пудожское и Коловское месторождения) и Прионежском (Бесовецкое, Шуйское и Сулажгорское месторождения) районах. В юго-западном Прибеломорье (Беломорский и Кемский районы) мощные залежи глины приурочены к побережью моря (Шуерецкое), рекам Кемь (Кемское) и Выг (Летнереченское). На севере Карелии в Лоухском районе известны такие крупные месторождения глин, как Чупинское и Софпорогское (Леонтьев, 2006, с. 159–164). Главным образом глины Карелии представлены четвертичными отложениями озерно-ледникового происхождения. Это тонкослоистые ленточные глины, залегающие на размытой поверхности моренных отложений или на коренных породах, мощность залежей которых составляет 3–6 м. Основу озерно-ледниковых глин Карелии составляют минералы иллит и монтмориллонит. Степень ожелезнения (наличие окислов железа) глин в среднем колеблется в пределах 5–8%. Гранулометрический состав сырья неоднородный: преобладает фракция размером до 0,01 мм (50–85%). Огнеупорность¹³ четвертичных глин Карелии по оценкам исследователей лежит в пределах 1190–1250 °С и 1120–1276 °С (Митрофанова, Филинцев, 1956, с. 17, 20, 26; Леонтьев, 2006, с. 159–161).

На территории Ленинградской области источники глинистого сырья связаны в основном с четвертичными и в меньшей степени дочетвертичными отложениями.

¹² Названия месторождений приведены в соответствии с их кадастровым наименованием (Леонтьев, 2006).

¹³ Способность материала, не расплавляясь, противостоять воздействию высоким температурам.

В Приозерском районе, где располагается Тиверск, глинистые породы представлены озерно-ледниковыми, реже ледниковыми отложениями, залегающими вблизи дневной поверхности. Это тонкозернистые ленточные глины, химический состав которых характеризуется содержанием окислов железа в пределах 6–11 %. Размерность частиц, как правило, не превышает 0,005 мм. На территории Юго-Восточного Приладожья залежи четвертичных озерно-ледниковых ленточных глин локализуются в Приладожской впадине и в бассейнах рек Паши и Тихвинки (Манихинское месторождение). Глины тонко- и среднедисперсные содержат до 60–70 % глинистой фракции и часто не требуют введения искусственных отощающих добавок, поскольку имеют естественную примесь. Известны также дочетвертичные – кембрийские, девонские и карбоновые отложения. К ожелезненным (содержание Fe_2O_3 составляет 2–8 %) относятся легкоплавкие кембрийские синие глины, обладающие хорошими пластичными свойствами (преобладает фракция размером до 0,005 мм) (Вейхер, Куленкап, 1975, с. 176–177, 180, 181, 203–204).

Для производства светлоглиняной посуды требуется беложгущаяся каолинистая глина. Каолинами называются светлоокрашенные глинистые породы, основу которых составляют такие минералы, как каолинит и кварц. В качестве примеси каолины нередко содержат и другие глинистые минералы, частично разложившиеся зерна полевых шпатов, опал и т. д. (Голованов, Михайлов, 2006, с. 48). Качественным отличием каолинитового сырья является его высокая огнестойкость, а изделия из такой глины обладают значительной механической прочностью. На территории Карелии имеется два проявления каолинистых глин – Проланваара и Аухтиярви (рис. 13). Проявление Проланваара расположено в 5 км северо-восточнее пос. Соанлахти Суоярвского района¹⁴. Известно, что в 30-е гг. XIX в. оно кустарно разрабатывалось в целях добычи глины для производства огнеупорного кирпича, но каолин Проланваары не отличается высоким качеством. Объем запаса сырья невелик, проявление прослеживается на расстоянии 200 м при ширине 6–10 м и представляет собой дресвяно-глинистую рыхлую породу с включениями мелкой дресвы и песка, состоящих из обломков кварцита и кварцевых зерен; каолиновая фракция характеризуется высоким 33,29 % содержанием глинозема (Голованов, Михайлов, 2006, с. 55). Другое более крупное проявление – Аухтиярви – значительно удалено от ареала средневековых памятников и расположено вблизи границы Карелии с Мурманской областью в 45 км юго-западнее пос. Алакуртти (Голованов, Михайлов, 2006, с. 52–55). На территории Юго-Восточного Приладожья месторождения огнеупорных каолинистых глин известны в Тихвинском районе Ленинградской области. Тихвинская группа месторождений огнеупорных глин (Большедворское, Повышенское и Синенковское) относится к отложениям нижнего карбона и представлена светлоокрашенными, непластичными или полупластичными породами, минеральному составу которых свойственно абсолютное преобладание каолинита. Химический состав отличается высоким содержанием окислов железа (1,6–4,7 %). Спекание огнеупорных глин

¹⁴ Расстояние до городища Паасо составляет около 48 км.

Тихвинской группы наступает при температуре 1250–1350 °С, а огнеупорность сырья достигает 1670–1730 °С (Вейхер, Куленкап, 1975, с. 182, 192–194).

Первые исследования, направленные на изучение состава ФМ средневековой керамики памятников Карелии с использованием методов минералогического анализа, осуществлены С. И. Кочкуркиной (1982, с. 127) в лаборатории Института археологии АН СССР на образцах гончарной посуды из Тиверского городка. По результатам петрографического анализа выделены две группы керамики. В первую вошли образцы, состоящие из тонкочешуйчатой пластинчатой бурой глины с грубой примесью биотитового гранита. Вторая группа представлена образцами, отличающимися от первой наличием алевритовой кварцевой примеси в ФМ. В ходе исследования установлено, что в качестве отощителя для глины использовались распространенные в районе современного г. Приозерска материалы, что в определенной мере оправдало предположение о существовании местного гончарного производства.

С 2013 г. работы по изучению¹⁵ технологий керамического производства в средневековой Карелии методами естественнонаучных дисциплин продолжены на базе Аналитического центра Института геологии КарНЦ РАН. Изучение химического и минерального состава компонентов ФМ лепной и гончарной керамики осуществлено методом электронно-зондовой микроскопии (Поташева и др., 2013; Поташева, 2015, с. 263–266; Сумманен и др., 2017; Сумманен, 2018б). Данная методика уже несколько десятилетий успешно применяется зарубежными археологами и все чаще используется отечественными специалистами для детального изучения технологий составления ФМ археологической посуды (Maniatis, Tite, 1981; Tite et al., 1982; Hein et al., 2007; Такеучи и др., 2009; Хорошун, 2009). Микрозондовое исследование состава и морфологии минералов осуществлялось на полированных аншлифах на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH (Teskan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford Instruments) в Аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН. Ранее метод был апробирован на небольшой серии образцов гончарной керамики (Поташева и др., 2013), что показало его основное преимущество – возможность точечного определения химического, минерального составов глинистой основы ФМ и введенных в нее отощающих добавок. Глинистая фракция изучалась площадным сканированием наиболее гомогенных участков размером от 100×100 до 300×300 мкм; для усреднения состава на одном образце проводилось три съемки. Для анализа состава минеральной примеси применялся точечный анализ. Кроме того, метод позволяет проводить визуальные наблюдения за структурой ФМ: оценить степень ее витрификации (спекание), которая зависит от температуры термообработки изделий, а также зафиксировать другие микроструктурные особенности отдельных компонентов.

¹⁵ Исследования выполнялись при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда и Правительства Республики Карелия (проект № 14–11–10002, «Гончарное производство и сырьевая база на территории Карелии (эпоха каменного века – Средневековья»), рук. С. И. Кочкуркина) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16–36–00005, «Реконструкция технологий гончарного производства средневековой Карелии (X–XV вв.) на основе использования новейших методов геохимического анализа (SEM, ICP-MS, LA-ICP-MS)», рук. И. М. Сумманен).

SEM анализ гончарной посуды городищ Северо-Западного Приладожья

Из материалов памятников Северо-Западного Приладожья для микронзондового анализа взято 28 образцов ФМ гончарных изделий (Сумманен и др., 2017). Из них 27 происходят из раскопок городищ и принадлежат сосудам из ожелезненной и не-ожелезненной глины; для эксперимента в выборку включена одна проба средневековой гончарной (ожелезненная глина) из Великого Новгорода.

Результаты исследования подтвердили выводы, основанные на визуальном анализе цветовых характеристик изделий: керамика сделана из разных видов глин (рис. 14: 1–4). Пластичная основа ФМ большинства образцов представлена глинами иллит-монтмориллонитового ряда и только для пяти образцов различных типов керамики установлены глины, близкие по составу к каолиниту (табл. 2, № 1, 2, 9, 15, 25, 26). Примесные минералы глин представлены преимущественно кварцем и полевыми шпатами песчаной или алевроитовой размерности. Среди акцессорных минералов зафиксированы слюды (мусковит, биотит), авгит, гранаты, рутил или анатаз, монацит, апатит, ильменит и магнетит.

В составах ФМ гончарной керамики преобладает минеральный отощитель: песок или дресва (рис. 14: 2, 5). В двух образцах (№ 6, 27) идентифицированы включения углеродистого вещества. Примесь разнокалиберного песка, как правило, свойственна изделиям типов IV (№ 7, 11, 13, 14) и V (№ 16, 17, 18, 24), реже сосудам типов II (№ 4, 19), III (№ 3), VI (№ 28) и IX (№ 8). Минеральный состав песка представлен зернами кварца, альбита, калиевого полевого шпата, кислых плагиоклазов разной степени окатанности, реже авгитом, гранатами, ильменитом, монацитом и цирконом (табл. 2). Для четырех образцов керамики (№ 3, 4, 5, 7) основу минеральной примеси составляют кварц и полевые шпаты. Возможно, в данном случае в качестве отощителя использовались дюнные отложения (эоловые пески), которые характеризуются однородным мономинеральным составом. Состав примесного материала остальных образцов более разнообразный, что свойственно озерным и флювиогляциальным отложениям.

В ФМ большинства горшков типа II (№ 21–23), а также изделий типов V (№ 15), VI (№ 10) и VIII (№ 25) и IX (№ 1) примесью служит дресва – обломки пород кварц-двуполевошпатового-биотитового состава (табл. 2). Среди акцессорных минералов этих пород установлены гранаты разного состава: альмандин, пироп, андрадит и гроссуляр. Их присутствие, вероятно, объясняется использованием метаморфических пород Приладожья (например, широко распространенные плагиогнейсы Приозерской или Лахденпохской мигматитовых зон) для приготовления отощающей добавки. Минеральный состав дресвы керамики типов IV (№ 12), VII (№ 2, 9) и IX (№ 1) представлен преимущественно кварцем, полевыми шпатами, слюдами (мусковитом и биотитом) и авгитом (за исключением образца № 9, взятого с горшка типа VII). В качестве акцессорных минералов установлены сфен, апатит, монацит и циркон; акцессорные гранаты в этих образцах не выявлены. В данном случае в качестве отощителя мог использоваться элювий (обломки) магматических пород кислого и среднего состава.

Как отмечено выше в ФМ двух образцов: новгородском (№ 6) и городищенском (№ 27) зафиксирована искусственная добавка, которую по химическому составу и особенностям структуры, можно определить как древесный уголь (рис. 14: 6). Примечательно, что не свойственная гончарству Северо-Западного Приладожья примесь выявлена в образце ФМ сосуда редкой формы (№ 27, см. настоящее издание. Рис. 63: 4), который, однако, по данным ICP-MS исследований не отнесен к привозным. Не исключено, что сосуд является еще одним изделием, изготовленным пришлым ремесленником.

Наблюдения за микроструктурой ФМ показали, что часть керамики (привозной сосуд № 5, новгородский № 6, каолининовая керамика типов VIII № 25 и Лопотти № 26) подверглась высокотемпературной обработке ($>1100\text{ }^{\circ}\text{C}$)¹⁶. Признаком обжига при высоких температурах следует считать спекание глины и минеральной примеси до однородной массы, визуальное фиксируемое на микроснимках: границы зерен примеси становятся слабо различимыми или вовсе исчезают (рис. 14: 3). Кроме того, метод электронно-зондовой микроскопии позволяет определять длительность и температуру термообработки керамики по присутствию минералов-индикаторов, одним из которых является хлорит. Он идентифицирован в составе большинства образцов из иллит-монтмориллонитовых глин (№ 11, 12, 14, 17, 19–21). Эксперименты по изучению обжига глин (Ionescu et al., 2011) показали, что их нагревание при температурах 700–900 °C в течение более двух часов приводит к исчезновению хлорита. Соответственно керамические изделия из ожелезненных глин, в составе которых сохранился хлорит, испытали кратковременный (менее двух часов) обжиг при температурах не выше 900 °C. Данные микрозондового анализа согласуются с результатами оптической микроскопии: у основной массы сосудов наблюдается трехслойный излом, появившийся вследствие кратковременного обжига с быстрым остыванием изделия. Отмечу, что задача определения условий обжига керамики (температура, длительность, атмосфера), на мой взгляд, является одной из наиболее сложных в исследованиях, нацеленных на реконструкцию технологий древних гончарных производств. Современный подход к изучению процессов термообработки археологической керамики подразумевает возможность использования широкого спектра методов минералогического и физико-химического анализа, среди которых электронно-зондовая микроскопия, рамановская спектроскопия, дифференциальный термический, рентгенографический анализы и т. п. Подобный комплексный подход применен для изучения гончарства населения Северо-Западного Приладожья, однако первоочередная задача состояла в оценке возможностей новейших инструментов естественнонаучных исследований, и поскольку методика анализа и интерпретации данных еще нуждается в отработке, полученные результаты следует считать предварительными. Вместе с тем не сочту лишним предоставить читателю возможность ознакомиться с материалами изысканий в этом направлении (Сумманен и др., 2016, 2017; Сумманен, 2018б; Чаженгина и др., 2018; Chazhengina et al., 2018).

¹⁶ Известно, что в древних устройствах для обжига керамики температура могла достигать 1150–1200 °C (Гражданкина, 1965).

Итак, изучение образцов ФМ гончарной посуды городищ Северо-Западного Приладожья позволяет в общих чертах охарактеризовать технологический цикл изготовления керамики. Гончарное производство базировалось на запасах местного сырья (ожелезненные глины иллитового и иллит-монтмориллонитового состава), добываемого неподалеку от поселений. Меньшая доля изделий сделана из нежелезненных каолинистых глин, источники которых надежно локализовать не удастся, в первую очередь ввиду крайне редкой встречаемости выходов каолинов на территории Карелии. Для отощения глины использовались характерные для традиций средневекового гончарства минеральные добавки в виде песка и дресвы. В зависимости от природных физико-механических свойств исходного сырья, хорошо знакомых мастерам древности, обжиг керамики из различных сортов глин производился при разных условиях: для светлоглиняных сосудов температура термообработки могла достигать 1000 °С и более; сероглиняная керамика обжигалась при температуре 700–900 °С. Как правило, процедура обжига была не длительной, что подтверждается как данными традиционных археологических методик анализа, так и минералогическими исследованиями.

SEM анализ лепной керамики средневековых поселений и погребений бассейнов Онежского и Ладожского озер, юго-западного Прибеломорья

Метод сканирующей электронной микроскопии применен для изучения составов ФМ лепной керамики из раскопок городищ Северо-Западного Приладожья (находки из разрушенных слоев догородищенских поселений X–XII вв.), курганных погребений Юго-Восточного Приладожья X–XII вв. и синхронных первым двум группам памятников охотничье-рыболовецких селищ и местонахождений юго-восточной Карелии и юго-западного Прибеломорья. Выборка включила пять проб с сосудов из раскопок Тиверского городка (табл. 2, № 40–44, Северо-Западное Приладожье), семь образцов ФМ посуды поселений Прионежья и Прибеломорья (№ 29–32, 37–39) и семь проб керамики из курганов Юго-Восточного Приладожья (№ 45–51).

Предметом анализа стали не только технологии изготовления керамики у носителей различных средневековых культур Карелии, позволяющие реконструировать стадии цикла производства. Одна из задач исследования заключалась в поиске сходств и различий в гончарстве населения Северо-Западного и Юго-Восточного Приладожья, Прионежья и юго-западного Прибеломорья, которые могли бы указать на существование контактов между обитателями различных историко-культурных территорий. В отношении материалов Северо-Западного Приладожья предпринята попытка поиска возможных связующих элементов между традициями производства лепной и гончарной керамики. Что касается курганных погребений Юго-Восточного Приладожья и поселений охотничье-рыболовецкой культуры в Прионежье и Прибеломорье, то здесь остается актуальной упомянутая ранее проблема о взаимосвязи этих культур (см. настоящее издание, с. 46, 61–62).

Исследование образцов лепной керамики догородищенских поселений Северо-Западного Приладожья (табл. 2, № 40–44) показало, что пластичная основа ФМ представлена глинами иллит-монтмориллонитового состава (рис. 14: 7, 8). Во всех образцах естественной примесью в глинистой фракции являются кварц, калиевый полевой шпат, часто – альбит и плагиоклаз (олигоклаз). Акцессорные минералы представлены биотитом, рутилом, ильменитом, апатитом, цирконом. Важно, что в составе двух образцов (№ 41 и 44) выявлен гранат – альмандин. Размерность частиц естественной примеси достигает 0,07–0,1 мм (алеврит крупный). По химическому и минеральному составу глинистой основы (иллит-монтмориллонит, акцессорные гранаты) образцы лепной керамики близки более поздней гончарной продукции.

В качестве отощителя в глину добавлялась дресва, представленная обломками пород, вероятно, кислого состава (предположительно, граниты), размером частиц в пределах 1–2,5 мм. Минеральный состав обломков характеризуется присутствием кварца, калиевого полевого шпата, часто с зернами плагиоклаза (олигоклаз) и альбита. Из акцессорных минералов идентифицирован минерал-маркер хлорит (№ 41, 42), указывающий на определенные параметры обжига изделий, которые обсуждались выше (см. с. 302). В одном образце обнаружены зерна шамота¹⁷ (№ 43, рис. 14: 9). Сосуд, отличающийся своеобразной орнаментацией (№ 44), демонстрирует вполне типичную для описанной группы керамики технологию составления ФМ.

Технологические приемы изготовления лепной керамики X–XII вв. и гончарных изделий XIII – начала XV в. имеют определенное сходство. Одно из них выразилось в похожих предпочтениях при отборе исходного сырья, другое – в представлениях об обжиге изделий. Однако данное наблюдение не доказывает принадлежность лепных изделий продукции гончарства населения, позже оставившего гончарную керамику. Вполне вероятно, что указанные технологические принципы продиктованы спецификой минерально-сырьевой базы Северо-Западного Приладожья и объясняются схожими приемами адаптации населения к окружающей среде.

Лепная керамика охотничье-рыболовецких поселений Прионежья и Прибеломорья по составу глинистой основы ФМ делится на две группы (рис. 15: 1–5): к первой отнесены образцы из иллитовых глин (табл. 2, № 29, 32, 37, рис. 15: 1), ко второй – из иллит-монтмориллонитовых глин (№ 30, 31, 38, 39, рис. 15: 2). Среди примесных минералов глинистой основы выявлены кварц, калиевый полевой шпат, альбит, олигоклаз. Акцессорные минералы глин представлены цирконом, ильменитом, альбитом, апатитом и др.; при этом иллит-монтмориллонитовые глины отличаются от иллитовых более разнообразным минеральным составом. Размер частиц естественной минеральной примеси в глинистой матрице варьирует в пределах 0,03–0,1 мм (алеврит, крупный алеврит). Отмечу, что материал для исследования составили пробы керамики памятников компактной территории бассейна

¹⁷ О значении данного термина см. с. 27 настоящего издания.

оз. Водлозера (Муромское VII, Келка I, Малая Пога I, Охтома I, Бостилово II). В выборку включены как пробы с сосудов ведущих морфотипов (табл. 2, № 29, 30, 32, 37, 38), так и образцы горшков редких форм (№ 39, 31), по внешнему облику тяготеющих к керамике Камско-Вычегодского края. Именно они (№ 31, 39) выделяются пестрым минеральным составом (рис. 15: 3) глинистой матрицы, содержащей рутил, эпидот, апатит, титанит, помимо которых для образца № 31 определены гранаты (альмандин, пироп), монацит, циркон, а для пробы № 39 – мусковит, ильменит, хромит. Полиминеральным составом глинистой матрицы также отличается проба горшка (№ 38), украшенного отпечатком зубчатого штампа по венчику (орнаментация не свойственна лепной керамике Прионежья и Прибеломорья). Состав остальных проб, взятых с сосудов распространенных морфотипов (№ 29, 30, 32, 37), более однороден.

Минеральный состав отошителя ФМ керамики типов I–IV представлен зернами калиевого полевого шпата, часто альбитизированного, в сростании с биотитом, реже кварцем. Размер обломков достигает 1–2 мм (рис. 15: 4). У сосудов редких форм (№ 31, 39) в ФМ присутствуют дресва и песок размером частиц до 1 мм. Установлены редкие включения кислых плагиоклазов (олигоклаз) и пластинчатые кристаллы биотита. Среди акцессорных минералов определены апатит, монацит, циркон, эпидот и др. В трех образцах зафиксирован хлорит (№ 29–31, рис. 15: 5).

По данным микрозондового исследования можно заключить, что население бассейна Онежского озера и юго-западного Прибеломорья использовало в керамическом производстве глины двух составов – иллитовые и иллит-монтмориллонитовые. В качестве отошителя традиционно использовалась дресва¹⁸. В этом отношении отличаются образцы редких форм керамики (№ 31, 39), ФМ которых помимо дресвы содержит песчаную примесь. Более того, глина, использованная для изготовления этих сосудов, существенно отличается от большинства местных изделий по минеральному составу. Данная особенность сближает сосуды редких форм с горшком (№ 38), своеобразие которого заключается в наличии орнамента. Принимая во внимание результаты ICP-MS анализа, не выявившего радикальных отличий между геохимическими составами образцов № 31, 39¹⁹ и остальной керамикой, можно предположить, что их появление связано с деятельностью пришлого населения, которое изготовило из местного сырья несколько сосудов в соответствии с собственными представлениями о технологии производства керамики.

Для изучения составов ФМ лепных изделий из курганов Юго-Восточного Приладожья взяты пробы с наиболее распространенных (табл. 2, № 45, 47–50, см. настоящее издание. Рис. 6: 6–9) и редких (№ 46, 51, см. Там же. Рис. 6: 12, 17) форм изделий. Образцы лепной курганной посуды демонстрируют однообразие

¹⁸ Отмечу, что в коллекции есть экземпляры с примесью кости в тесте (см.: Сумманен, настоящее издание, с. 54), но ввиду небольшого размера обломков с них не брались образцы для анализа.

¹⁹ В списке проб для ICP-MS анализа это образцы под шифрами К-122 и Б-123 соответственно.

в составе пластичной основы ФМ (рис. 15: 6): все они относятся к иллитовым глинам (табл. 2). Минеральный состав естественной примеси в глине преимущественно представлен кварцем, иногда с калиевым полевым шпатом или альбитом (рис. 15: 7). Ряд аксессуарных минералов включает калиевый полевой шпат, ильменит (5 из 7 образцов), реже – апатит, биотит и монацит. Размерность частиц естественной примеси варьирует в пределах 0,01–0,05 мм (алеврит мелкий).

Искусственно введенная минеральная добавка чаще присутствует в виде грубых зерен дресвы размером 1–2, иногда до 3,5 мм. У большинства образцов (№ 45, 47, 49, 50) примесь имеет практически мономинеральный кварцевый состав, иногда с включениями калиевого полевого шпата, альбита. Материал отошителя, содержащегося в ФМ сосудов редких форм (№ 46, 51), заметно отличается разнообразием аксессуарных минералов, среди которых выявлены хлорит, циркон, эпидот (рис. 15: 9). Помимо минеральной примеси, в образцах № 46, 47 в качестве искусственной примеси идентифицированы органические включения, вероятно, обломки костей, минеральный состав которых представлен апатитом (рис. 15: 8).

Обобщая результаты микронзондового исследования образцов ФМ посуды из курганов Юго-Восточного Приладожья, следует отметить, что в сравнении с коллекциями городищ Северо-Западного Приладожья и поселений Прионежья и Прибеломорья, характерной чертой курганной лепной керамики ведущих морфотипов является однообразие минеральных составов глинистой основы и примесной фракции. Что касается сосудов редких форм, то их внешние отличия сопровождаются специфическими технологическими характеристиками: например, пестротой составов аксессуарных минералов примеси-отошителя или присутствием хлорита, который не встречен в остальных образцах. Эти особенности указывают на следование иным технологическим принципам на разных этапах керамического производства от отбора исходного сырья до обжига изделий. Примечательно, что в тесте редких экземпляров из коллекций приладожских курганов и охотничье-рыболовецких селищ выявлена примесь кости: возможно, ее появление обусловлено влиянием пришлых гончарных традиций, происходивших из одного региона (его предстоит установить).

Сравнительный анализ составов ФМ лепной керамики Приладожской курганной культуры и охотничье-рыболовецких селищ Прионежья и Прибеломорья иллюстрирует различия технологий гончарного производства, главным образом, отразившиеся на принципах отбора сырья. Так, на селищах Прионежья и Прибеломорья сосуды изготавливались из иллитовых и иллит-монтмориллонитовых глин с добавлением минерального отошителя калиево-полевошпатового состава. В Юго-Восточном Приладожье использовались иллитовые глины, примесью которым служила дресва преимущественно кварцевого состава. Отмеченные различия могут быть обусловлены как особенностями минерально-сырьевой базы рассматриваемых территорий, так и сложением индивидуальных гончарных традиций у носителей курганной и охотничье-рыболовецкой культур.

Литература

- Вейхер А. А., Куленкап В. Н.* Глинистые породы // Геология СССР. М., 1975. Т. 1: Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Полезные ископаемые. С. 176–210.
- Голованов Ю. Б., Михайлов В. П.* Каолин // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Книга 2: Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. С. 48–55.
- Гражданкина Н. С.* Методика химико-технологического исследования древней керамики // Археология и естественные науки. М.: Наука, 1965. С. 152–160.
- Кочуркина С. И.* Древняя Корела. Л.: Наука, 1982. 216 с.
- Леонтьев А. Г.* Глинистые породы // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Книга 2: Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. С. 158–164.
- Митрофанова З. Т., Филинцев Г. П.* Глины Карелии. Петрозаводск: Госуд. изд-во КАССР, 1956. 160 с.
- Поташева И. М.* Гончарство древних карелов в эпоху Средневековья: лепная и круговая посуда населения Северо-Западного Приладожья // Современные подходы к изучению древней керамики в археологии. Международный симпозиум (29–31 октября 2013 г., Москва). М.: ИА РАН, 2015. С. 258–268.
- Поташева И. М., Светов С. А.* Геохимические исследования в археологии: ICP-MS анализ образцов круговой керамики древнекарельских городищ // Труды КарНЦ РАН. Серия Гуманитарные исследования. 2013. № 3. С. 136–142.
- Поташева И. М., Светов С. А.* ICP-MS анализ древней керамики как метод определения источников сырья и места производства гончарной продукции // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. № 4 (141). С. 71–77.
- Поташева И. М., Чаженгина С. Ю., Светов С. А.* Возможности применения микрозондового анализа образцов круговой керамики к изучению технологии древнего гончарства карелов в эпоху Средневековья // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 8 (137). С. 44–50.
- Светов С. А., Степанова А. В., Чаженгина С. Ю., Светова Е. Н., Рыбникова З. П., Михайлова А. И., Парамонов А. С., Утицына В. Л., Эхова М. В., Колодей В. С.* Прецизионный (ICP-MS, LA-ICP-MS) анализ состава горных пород и минералов: методика и оценка точности результатов на примере раннедокембрийских мафитовых комплексов // Труды КарНЦ РАН. Серия Геология докембрия. 2015. № 7. С. 54–73.
- Сумманен (Поташева) И. М.* Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) как метод исследования древней керамики // Тр. IV (XX) Всероссийского археологического съезда 20–25 октября 2014 г. в Казани. 2014. Том IV. С. 173–176.
- Сумманен И. М.* ICP-MS анализ: возможности и ограничения метода // Новые материалы и методы археологического исследования. Мат-лы III Междунар. конф. молодых ученых. М.: ИА РАН, 2015. С. 195–196.
- Сумманен И. М.* Масс-спектрометрический анализ керамики: влияние минерального отощителя на содержание маркерных элементов // Новые материалы и методы археологического исследования: От археологических данных к историческим реконструкциям. Мат-лы IV конф. молодых ученых. М.: ИА РАН, 2017. С. 155–157.

Сумманен И. М. «Белоглиняная» керамика городищ Северо-Западного Приладожья: типология, технология, место производства // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Исторические науки и археология. 2018а. № 2 (171). С. 16–23.

Сумманен И. М. Определение параметров обжига керамики с использованием методов минералогического анализа // Актуальная археология 4. Новые интерпретации археологических данных. Мат-лы Междунар. конф. молодых ученых. СПб., 2018б. С. 25–28.

Сумманен И. М., Светов С. А. ICP-MS-исследование образцов формовочных масс лепной керамики средневековых памятников Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Исторические науки и археология. 2017а. № 1 (162). С. 18–26.

Сумманен И. М., Светов С. А. Прецизионные методы геохимических исследований (ICP-MS, LA-ICP-MS) как инструменты изучения древней керамики: апробация и перспективы применения // V (XXI) Всероссийский археологический съезд [Электронный ресурс]: сборник научных трудов / Отв. ред. А. П. Деревянко, А. А. Тишкин. Барнаул: ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», 2017б. <http://elibrary.asu.ru/handle/asu/3896> [Дата обращения: 12.09.2018].

Сумманен И. М., Чаженгина С. Ю., Светов С. А. Применение электронно-зондовой микроскопии к изучению состава формовочных масс глиняной посуды на примере гончарной керамики древних карелов // Актуальная археология 3. Новые интерпретации археологических данных. Мат-лы Междунар. конф. молодых ученых. СПб., 2016. С. 364–367.

Сумманен И. М., Чаженгина С. Ю., Светов С. А. Минералогия и технологический анализ керамики (по материалам средневековых памятников Северо-Западного Приладожья) // Записки Российского минералогического общества. 2017. № 3. С. 108–123.

Такеучи Т., Мыльникова Л. Н., Нестеров С. П., Кулик Н. А., Деревянко Е. И., Алкин С. В., Накамура К. Электронно-микроразностный анализ формовочных масс керамики с памятников Дальнего Востока // Археология, этнография и антропология Евразии. 2009. № 1. С. 39–51.

Хорошун Т. А. К вопросу использования местных ресурсов для изготовления древней глиняной посуды (развитый неолит – энеолит) // Адаптация культуры населения Карелии к особенностям местной природной среды периодов мезолита – Средневековья. Гуманитарные исследования. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 98–110.

Хорошун Т. А. Геохимические исследования керамики позднего неолита Карелии // Конференция «Бубриховские чтения: Гуманитарные науки на Европейском Севере»: Материалы. Петрозаводск, 2015. Режим доступа: http://resources.krc.karelia.ru/illh/doc/knigi_stati/bubrih_chit_2015.pdf [Дата обращения: 07.09.2018].

Хорошун Т. А., Сумманен И. М. Роль естественнонаучных методов в изучении древней керамики памятников Карелии // Труды КарНЦ РАН. Серия Гуманитарные исследования. 2015. № 8. С. 17–27.

Чаженгина С. Ю., Сумманен И. М., Светов С. А. Применение методов сканирующей электронной микроскопии, рамановской спектроскопии и рентгенографии для решения археологических задач // Мат-лы научного семинара «Физико-химические методы изучения минеральных агрегатов, минералоидов и синтетических агрегатов: проблемы и перспективы», 27 апреля 2018 г. Петрозаводск, 2018. С. 81–86.

Chazhengina S. Y., Summanen I. M., Svetov S. A. Determination of firing temperature for medieval ceramics using the Raman spectroscopy data // XIII GeoRaman Conference, Catania, June 10–14. 2018. P. 2018.

Dussubieux L., Golitko M., Williams P. R., Speakman R. J. LA-ICP-MS Analysis applied to the Characterization of Peruvian Wari Ceramics // *Archaeological Chemistry: Analytical Technique and Archaeological Interpretation*. Washington DC, 2007. P. 349–363.

Hein A., Kilikoglou V., Kassianidou V. Chemical and Mineralogical Examination of Metallurgical Ceramics from a Late Bronze Age copper smelting site in Cyprus // *Journal of Archaeological Science*. 2007. N 34. P. 141–154.

Hein A., Tsolakidou A., Iliopoulos I., Mommsen H., Buxeda i Garrigós J., Montana G., Kilikoglou V. Standardisation of elemental analytical techniques applied to provenance studies of archaeological ceramics: an inter laboratory calibration study // *Analyst*. 2002. N 127 (4). P. 542–553.

Ionescu C., Hoeck V., Simon V. Effect of the temperature and the heating time on the composition of an illite-smectite clay: an XRPD study // *Studia UBB Physica*. 2011. LVI. N 2. P. 69–78.

Little N. C., Kosakowsky L. J., Speakman R. J., Glascock M. D., Lohse J. C. Characterization of Maya pottery by INAA and ICP-MS // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2004. Vol. 262, N. 1. P. 103–110.

Maniatis Y., Tite M. S. Technological Examination of Neolithic-Bronze Age Pottery from Central and Southeast Europe // *Journal of Archaeological Science*. 1981. N 8. P. 59–76.

Montaser A. Inductively coupled plasma mass spectrometry. New York, NY, 1998. 964 p.

Pillay A. E. Analysis of archaeological artefacts: PIXE, XRF or ICP-MS? // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2001. Vol. 247. Issue 3. P. 593–595.

Robertson J. D., Neff H., Higgins B. Microanalysis of ceramics with PIXE and LA-ICP-MS // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2002. Vol. 189, N 1–4. P. 378–381.

Tite M. S., Freestone I. C., Meeks N. D., Bimson M. The Use of Scanning Electron Microscopy in the Technological Examination of Ancient Ceramics // *Ceramics as Archaeological Material*. Washington, 1982. P. 109–120.

Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogy*. 2010. Vol. 95. P. 185–187.

ТАБЛИЦЫ И ИЛЛЮСТРАЦИИ К ПРИЛОЖЕНИЮ

Таблица 1. Список образцов для ICP-MS-исследования

	Шифр объекта	Объект исследования	Место забора образца (для глин) / памятник (для сосудов)	Описание (вид сырья, тип керамики) ОГ – ожелезн. глина НГ – нежелезн. глина
1	С-1	Фрагмент гончарного сосуда	Соскуа-Линнамяки	ОГ, г. р.к. (тип I)
2	Тер-2	-//-	Терву-Линнасаари	ОГ, V-Г
3	Тер-3	-//-	-//-	ОГ, III-А
4	Тер-4	-//-	-//-	НГ, IX-Б
5	Х-5	-//-	Хямеенлахти- Линнавуори	ОГ, V-В
6	Х-6	-//-	-//-	ОГ, V-Г
7	Х-7	-//-	-//-	ОГ, без типа
8	Х-8	-//-	-//-	ОГ, II
9	Х-9	-//-	-//-	ОГ, г. р.к. (тип I)
10	П-10	-//-	Паасо	НГ, IX-А
11	П-11	-//-	-//-	ОГ, V-В
12	П-12	-//-	-//-	ОГ, VI
13	П-13	-//-	-//-	ОГ, г. р.к. (тип I)
14	П-14	-//-	-//-	ОГ, IV-Б
15	П-15	-//-	-//-	ОГ, IV-А
16	П-16	-//-	-//-	ОГ, V-В
17	П-17	-//-	-//-	ОГ, IV-Б
18	П-18	-//-	-//-	ОГ, V-Г
19	П-19	-//-	-//-	ОГ, без типа
20	Т-20	-//-	Тиверск	НГ, VII
21	Т-21	-//-	-//-	НГ, VIII
22	Т-22	-//-	-//-	НГ, VII
23	Т-23	-//-	-//-	НГ, VIII
24	Т-24	-//-	-//-	ОГ, II
25	Т-25	-//-	-//-	ОГ, IV-А
26	Т-26	-//-	-//-	ОГ, II
27	Т-27	-//-	-//-	ОГ, IV-А
28	Т-28	-//-	-//-	ОГ, II
29	Т-29	-//-	-//-	ОГ, III-Б
30	Т-30	-//-	-//-	ОГ, V-Г
31	Т-31	-//-	-//-	ОГ, V-Г
32	Т-32	-//-	-//-	ОГ, VI
33	Т-33	-//-	-//-	ОГ, V-Б

Продолжение табл. 1

	Шифр объекта	Объект исследования	Место забора образца (для глин) / памятник (для сосудов)	Описание (вид сырья, тип керамики) ОГ – ожелезн. глина НГ – нежелезн. глина
34	Т-34	Фрагмент гончарного сосуда	Тиверск	ОГ, III-Б
35	Т-35	-//-	-//-	ОГ, II
36	Т-36	-//-	-//-	ОГ, V-Б
37	Т-37	-//-	-//-	ОГ, III-А
38	Т-38	-//-	-//-	ОГ, II
39	Т-39	-//-	-//-	ОГ, без типа
40	Т-40	-//-	-//-	ОГ, V-Г
41	Т-41	-//-	-//-	ОГ, II
42	Т-42	-//-	-//-	ОГ, II
43	Ол-43	-//-	Олонец (крепость)	Гончарный сосуд (ОГ) из раскопок древнего Олонца
44	Т-44	-//-	Тиверск	ОГ, V-Б
45	Т-45	-//-	-//-	ОГ, IV-А
46	Т-46	-//-	-//-	ОГ, II
47	Т-47	-//-	-//-	ОГ, II
48	Т-48	-//-	-//-	ОГ, V-А
49	Т-49	Фрагмент глиняной обмазки	-//-	Глиняная обмазка (ОГ) из раскопок Тиверска
50	Лх-50	Глина	пос. Куркиёки, берег р. Рахоланйоки	Глина (ОГ)
51	Ол-51	-//-	г. Олонец	Местная глина (ОГ), используемая в современном гончарстве
52	Л-52	-//-	возвышенность Лопотти	Глина (ОГ)
53	Н-53	Глина	Великий Новгород, Славенский конец	Материковая глина (ОГ)
54	Н-54	Фрагмент гончарного сосуда	Великий Новгород, раскоп Никольский-ХIII	Обломок сосуда, НГ
55	Н-55	-//-	-//-	-//-, ОГ
56	Н-56	-//-	-//-	-//-, ОГ
57	Н-57	-//-	-//-	-//-, НГ
58	Н-58	-//-	-//-	-//-, ОГ
59	Н-59	-//-	-//-	-//-, НГ
60	Н-60	-//-	-//-	-//-, ОГ
61	Н-61	-//-	-//-	-//-, ОГ
62	Н-62	-//-	-//-	-//-, ОГ
63	Н-63	-//-	-//-	-//-, НГ

64	Н-64	-//-	-//-	-//-, ОГ
65	О-65	-//-	Орешек (крепость)	-//-, НГ
66	О-66	-//-	-//-	-//-, НГ
67	О-67	-//-	-//-	-//-, ОГ
68	О-68	-//-	-//-	-//-, ОГ
69	О-69	-//-	-//-	-//-, ОГ
70	П-70	Фрагмент глиняной обмазки	Паасо	Глиняная обмазка (ОГ) из раскопок Паасо
71	Р-71	Глина	пос. Реускула	Местная глина (ОГ), используемая в современном гончарстве
72	Хл-72	Глина	пос. Хелюля	Местная глина (ОГ)
73	Хл-73	Глина	пос. Хелюля, берег р. Тохмайоки	Глина (ОГ)
74	П-74	Фрагмент гончарного сосуда,	Паасо	ОГ, без типа
75	П-75	-//-	-//-	НГ, IX-Б
76	П-76	-//-	-//-	ОГ, V-B
77	П-77	-//-	-//-	ОГ, III-B
78	П-78	-//-	-//-	ОГ, IV-B
79	П-79	-//-	-//-	ОГ, II
80	П-80	-//-	-//-	ОГ, III-B
81	П-81	-//-	-//-	ОГ, IV-B
82	П-82	-//-	-//-	ОГ, III-A
83	П-83	-//-	-//-	НГ, IX-Б
84	П-84	-//-	-//-	НГ, IX-A
85	Т-85	-//-	Тиверск	ОГ, без типа
86	Т-86	-//-	-//-	НГ, VIII
87	Т-87	-//-	-//-	НГ, VIII
88	Т-88	-//-	-//-	НГ, VII
89	Т-89	-//-	-//-	НГ, IX-Б
90	Ол-90	-//- (повтор пробы № 43)	Олонец (крепость)	Обломок гончарного сосуда, без типа
91	Т-91	-//-	Тиверск	ОГ, VI
92	Т-92	-//-	-//-	ОГ, II
93	Т-93	-//-	-//-	ОГ, II
94	Т-94	-//-	-//-	ОГ, III-B
95	Т-95	-//-	-//-	ОГ, II
96	Т-96	Фрагмент ручки сосуда	-//-	ОГ
97	Т-97	-//-	-//-	ОГ
98	П-98	Фрагмент кувшина	Паасо	ОГ

	Шифр объекта	Объект исследования	Место забора образца (для глин) / памятник (для сосудов)	Описание (вид сырья, тип керамики) ОГ – ожелезн. глина НГ – нежелезн. глина
99	Л-99	Фрагмент гончарного сосуда	Лопотти	НГ, не реконструирован
100	Л-100	-//-	-//-	НГ, тип Лопотти
101	Л-101	-//-	-//-	НГ, тип Лопотти
102	Тер-102	-//-	Терву-Линнасаари	ОГ, IV-A
103	Тер-103	-//-	-//-	НГ, IX-A
104	М-104	Глина	пос. Матросы	Глина (ОГ)
105	Т-105	Фрагмент лепного сосуда	Тиверск	ОГ, группа 3
106	Т-106	-//-	-//-	ОГ, группа 2
107	Т-107	-//-	-//-	ОГ, группа 2
108	Т-108	-//-	-//-	ОГ, группа 3
109	Мр-109	-//-	Муромское VII	ОГ, I
110	Мр-110	-//-	-//-	ОГ, I
111	Мр-111	-//-	-//-	ОГ, II
112	Мр-112	-//-	-//-	ОГ, III
113	Мр-113	-//-	-//-	ОГ, фрагмент сосуда
114	Мр-114	-//-	-//-	ОГ, тип «Васильево 2»
115	БН-115	-//-	Бесов Нос VI	ОГ, I
116	УВ-116	-//-	Усть-Водла I	ОГ, II-Б
117	Ох-117	-//-	Охтома I	ОГ, I
118	Ох-118	-//-	-//-	ОГ, I
119	Ох-110	-//-	-//-	ОГ, II-Б
120	Ох-120	-//-	-//-	ОГ, II-Б
121	К-121	-//-	Келка I	ОГ, I
122	К-122	-//-	-//-	ОГ, со шнуровым орнаментом
123	Б-123	-//-	Бостилово II	ОГ, редкая форма
124	СВ-124	-//-	Сухая Водла	ОГ, II-Б
125	МП-125	-//-	Малая Пога I	ОГ, IV
126	МП-126	-//-	-//-	ОГ, I
127	Сн-127	-//-	Суна VI	ОГ
128	Мн-128	-//-	Мантсинсаари	ОГ
129	Ч-129	-//-	Чёлмужи	ОГ
130	Ч-130	-//-	-//-	ОГ
131	КЗ-131	-//-	Красная Заря	ОГ
132	Кк-132	-//-	Кокорино	ОГ
133	Кк-133	-//-	-//-	ОГ, миска

134	Пп-134	Фрагмент гончарного сосуда	Подпорожье IV	ОГ
135	ЮВП-135	Фрагмент лепного сосуда	Шангеничи-село 1	ОГ
136	ЮВП-136	-//-	Нюбиничи, курган 2	ОГ
137	ЮВП-137	-//-	Гайгово 4	ОГ
138	ЮВП-138	-//-	Акулова Гора	ОГ, I
139	ЮВП-139	-//-	Нюбиничи	ОГ, I
140	ЮВП-140	-//-	Шангеничи-лес	ОГ, I
141	ЮВП-141	Фрагмент гончарного сосуда	-//-	ОГ, V
142	ЮВП-142	-//-	-//-	ОГ
143	ЮВП-143	-//-	Гайгово	ОГ
144	ЮВП-144	-//-	Шангеничи-лес	ОГ
145	В-145	Глина	р. Вуокса, Приозерский р-н, Ленобласть	ОГ
146	Вд-146	-//-	пос. Видлица, Олонецкий р-н	ОГ
147	Кн-147	-//-	пос. Кончезеро, Кондопожский р-н	ОГ
148	Пч-148	-//-	урочище Пичево, оз. Логмозеро, Прионежский р-н	ОГ
149	Пр-149	-//-	урочище Проланваара, оз. Янисъярви, Суоярвский р-н	ОГ
150	Чк-150	-//-	пос. Чкаловский, Лоухский р-н	ОГ
151	Ор-151	Каолинитовая глина	Орловская область	НГ
152	Вж-152	-//-	Воронежская область	-//-
153	Лц-153	-//-	Липецкая область	-//-
154	Лц-154	-//-	-//-	-//-
155	П-155	Глина	Подножие горы Паасо	ОГ
156	П-156	Порода	Скальный массив горы Паасо, измельченная порода	
157	Вн-157	Глина	пос. Винницы, Подпорожский р-н, Ленобласть	ОГ
158	Вн-158	Песок, крупная фракция	Берег р. Ояги, пос. Винницы, Подпорожский р-н, Ленобласть	

	Шифр объекта	Объект исследования	Место забора образца (для глин) / памятник (для сосудов)	Описание (вид сырья, тип керамики) ОГ – ожелезн. глина НГ – нежелезн. глина
159	Вн-159	Песок, мелкая фракция	Берег р. Ояти, пос. Винницы, Подпорожский р-н, Ленобласть	
160	См-160	Гончарная керамика XII–XIII вв.	г. Смоленск, Набережная Горького, 22. Ш.5	НГ
161	См-161	-//-	-//-	-//-
162	См-162	-//-	-//-	-//-
163	См-163	-//-	-//-	-//-
164	См-164	-//-	-//-	-//-
165	См-165	-//-	-//-	-//-
166	См-166	-//-	-//-	-//-
167	См-167	-//-	-//-	-//-
168	См-168	-//-	-//-	-//-
169	См-169	-//-	-//-	-//-
170	См-170	-//-	-//-	-//-
171	См-171	-//-	-//-	-//-
172	См-172	-//-	-//-	-//-
173	См-173	-//-	-//-	-//-
174	См-174	-//-, XI в.?	-//-	-//-
175	См-175	-//-	г. Смоленск, мкр. Новосельцы, Р. 2	-//-
176	См-176	-//-	-//-	ОГ
177	См-177	-//-	-//-	ОГ
178	См-178	-//-	-//-	НГ
179	См-179	-//-	-//-	-//-
180	Кл-180	-//-, сер. XVII в.	г. Коломна	ОГ
181	Кл-181	-//-	-//-	-//-
182	Кл-182	-//-	-//-	-//-
183	Кл-183	-//-	-//-	-//-
184	Кл-184	-//-	-//-	-//-
185	Кл-185	-//-	-//-	НГ
186	Кл-186	-//-	-//-	-//-
187	Кл-187	-//-	-//-	-//-
188	Кл-188	-//-	-//-	-//-
189	Кл-189	-//-	-//-	-//-
190	Гж-190	-//-, XVI в.	г. Гжель	-//-
191	Гж-191	-//-	-//-	-//-

192	Гж-192	-//-	-//-	-//-
193	Гж-193	-//-	-//-	-//-
194	Гж-194	-//-	-//-	-//-
195	Мк-195	-//-, XIII– XIV вв.	г. Москва	ОГ
196	Мк-196	-//-	-//-	-//-
197	Мк-197	-//-	-//-	-//-
198	Мк-198	-//-	-//-	-//-
199	Мк-199	-//-	-//-	-//-
200	Мк-200	-//-, XVI в.	-//-	-//-, красноглиняная
201	Мк-201	-//-	-//-	-//-, красноглиняная
202	Мк-202	-//-	-//-	-//-, красноглиняная
203	Мк-203	-//-	-//-	-//-, красноглиняная
204	Мк-204	-//-	-//-	НГ, чернолощенная
205	Мк-205	-//-	-//-	НГ, чернолощенная
206	Мк-206	Фрагмент гончарного сосуда, XVI в.	-//-	ОГ, краснолощенная
207	Тв-207	-//-, XI–XII вв.	г. Тверь, Калининский р-н	ОГ
208	СтЛ-208	Глина	Земляное городище, Старая Ладога	ОГ
209	Гн-209	-//-	Урочище Гнильное, устье р. Свири, Ладожское озеро	ОГ

Таблица 2. Минеральные составы образцов формовочных масс керамики Северо-Западного (№ 1–5, 7–28, 40–44), Юго-Восточного (№ 45–51) Приладожья, Прионежья и Прибеломорья (№ 29–32, 37–39), Великого Новгорода (№ 6)

Образец	Пластичная основа формовочной массы		Вид	Отощитель Минералы
	Глина	Примесь в глине		
1	Kln	Qz*, Fsp, Ant	Порода	Ab, Fsp, Ms, Aug, Ol, Alm, Mnz
2	Kln	Qz, Ant, Ms, Ilm	Порода	Ab, Fsp, Bt, Aug, Ap, Zrn
3	Ilt-Mnt	Ab, Pl, Fsp, Ms, Adr, Mag	Песок	Qz, Pl
4	Ilt-Mnt	Qz, Ilm, Mnz	Песок	Qz, Ab, Fsp
5	Ilt	Qz, Mnz, Zrn	Песок	Qz, Ab, Fsp
6	Ilt	Qz, Ab, Ant, Rt, Ap	Порода, уголь	Qz, Ab, Fsp, Bt, Ttn, Zrn
7	Ilt	Qz, Ab, Fsp	Песок	Qz, Ab, Fsp, Hem
8	Ilt	Qz	Песок	Qz, Pl, Fsp, Aug, Zrn, Rt
9	Kln	Qz, Ab, Fsp	Порода	Qz, Ab, Fsp, Pl, Bt, Chl
10	Ilt	Qz	Порода	Qz, Ab, Fsp, Bt, Alm
11	Ilt	Qz, Ab, Fsp	Песок	Qz, Fsp, Pl, Aug, Chl, Ap
12	Ilt	Qz, Fsp, Aug, Cal	Порода	Qz, Ab, Fsp, Pl, Aug, Bt, Chl, Ap, Ttn
13	Ilt	Qz, Ab, Fsp	Песок	Qz, Ab, Fsp, Pl, Aug, Ap, Prp-Alm
14	Ilt	Qz, Ab, Pl	Песок	Qz, Ab, Fsp, Pl, Bt, Aug, Chl
15	Kln	Qz, Ab, Fsp	Порода	Qz, Ab, Fsp, Pl, Bt, Alm, Prp-Adr, Ilm, Zrn, Py
16	Ilt	Qz, Fsp	Песок	Qz, Ab, Fsp, Pl, Alm, Ilm, Zrn
17	Ilt-Mnt	Qz, Ab	Песок	Qz, Ab, Fsp, Chl, Ilm, Zrn, Ap, Grs-Adr
18	Ilt	Qz	Песок	Qz, Ab, Fsp, Pl, Ilm, Mnz
19	Ilt-Mnt	Qz, Ab, Bt	Песок	Qz, Ab, Fsp, Pl, Chl, Ttn
20	Ilt-Mnt	Qz	Порода	Qz, Ab, Fsp, Pl, Bt, Chl, Zrn
21	Ilt	Qz, Fsp	Порода	Qz, Fsp, Pl, Bt, Chl, Grs, Alm, Prp-Adr, Ant, Rt, Zrn, Ttn, Ap
22	Ilt	Qz, Fsp, Pl	Порода	Qz, Fsp, Pl, Bt, Alm, Ant, Zrn, Mnz
23	Ilt	Qz, Fsp	Порода	Qz, Fsp, Pl, Bt, Grs, Zrn, Mnz, Ap
24	Ilt	Qz	Песок	Qz, Alb, Fsp, Pl, Zrn, Mnz, Ilm
25	Kln	Qz, Fsp	Порода	Qz, Fsp, Pl, Bt, Grs, Zrn, Mnz, Ap
26	Kln	**	Порода	Qz, Fsp, Pl, Ant, Zrn, Alm
27	Ilt	Ab, Fsp, Pl, Bt	Порода, уголь	Qz, Fsp, Pl, Bt, Alm, Px

28	Ilt	Qz, Fsp	Песок	Qz, Fsp, Pl, Bt, Grs, Zrn, Mnz, Ap
29	Ilt	Qz, Fsp, Zr, Ilm	Порода	Fsp, Ab, Bt, Qz, Pl, Ap, Chl, Ep, Ab+Ep+Bt
30	Ilt-Mnt	Qz, Ab, Ep, Pl, Amp	Порода	Fsp, Ab, Bt, Ap, Chl
31	Ilt-Mnt	Qz, Ab, Fsp, Ep, Ru, Ap, Ttn, Zr, Mnz (Th), Alm, Prp	Порода, песок	Qz, Ab, Pl, Bt, Ap, Ilm, Mnz, Chl
32	Ilt	Qz, Fsp, Zr, Ilm	Порода	Qz, Ab+Bt, Fsp+Ab+Bt
37	Ilt	Qz, Fsp, Zr	Порода	Fsp, Ab, Bt, Qz, Ep, Zr, Ap, Ru, Ttn
38	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ab, Pl, Aug, Ru, Ep, Ilm, Mnz, Chr (?)	Порода	Fsp, Ab, Bt, Qz, Ep, Mz, Zr
39	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ab, Pl, Ms, Bt, Ru, Ep, Ap, Ttn, Ilm, Chr (?)	Порода, песок	Fsp, Ab, Bt, Qz, Ep, Zr, Pl
40	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ab, Pl, Bt, Ru, lm, Ap	Песок	Qz+Pl+Bt, Ab, Zr
41	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ep, Ap, Ilm, Alm (?)	Порода	Qz, Pl, Bt, Ab, Zr, Chl
42	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ab, Pl, Bt, Ap, lm, Chl	Порода	Qz, Pl, Fsp, Bt, Ab, Zr, Chl, Ap, Mz
43	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Pl, Bt, Ru, Ap, Ttn, Zr	Порода, шамот	Qz, Alb, Fsp, Bt+Phl (?), Ilm, Ap
44	Ilt-Mnt	Qz, Fsp, Ab, Pl, Ilm, Ttn, Alm (?)	Порода	Fsp, Qz, Ab, Bt, Ilm, Ap
45	Ilt	Qz, Fsp, Mnz (Th), Ilm	Порода	Qz, Alb, Fsp, Bt, Zr
46	Ilt	Qz, Fsp, Bt, Ilm, Ap	Песок, кость	Qz, Ab, Fsp, Chl, Ep, Zr, Ilm
47	Ilt	Qz, Fsp, Bt, Ilm, Ap	Порода, кость	Fsp, Ab, Bt
48	Ilt	Qz, Fsp, Zr, Mnz (Th)	Порода	Qz, Ab, Bt, Ms
49	Ilt	Qz, Ilm, Mnz	Порода, шамот	Qz, Fsp
50	Ilt	Qz, Ab, Ilm, Zr	Порода	Q, Fsp, Bt
51	Ilt	Qz, Fsp, Bt	Порода	Q, Fsp, Ab, Bt, Ep, Zr, Chl, Ttn

Примечание. * Аббревиатуры минералов приводятся по: Whitney, Evans, 2010;

** Примесь в глине не удалось выявить из-за высокой степени витрификации формовочной массы.

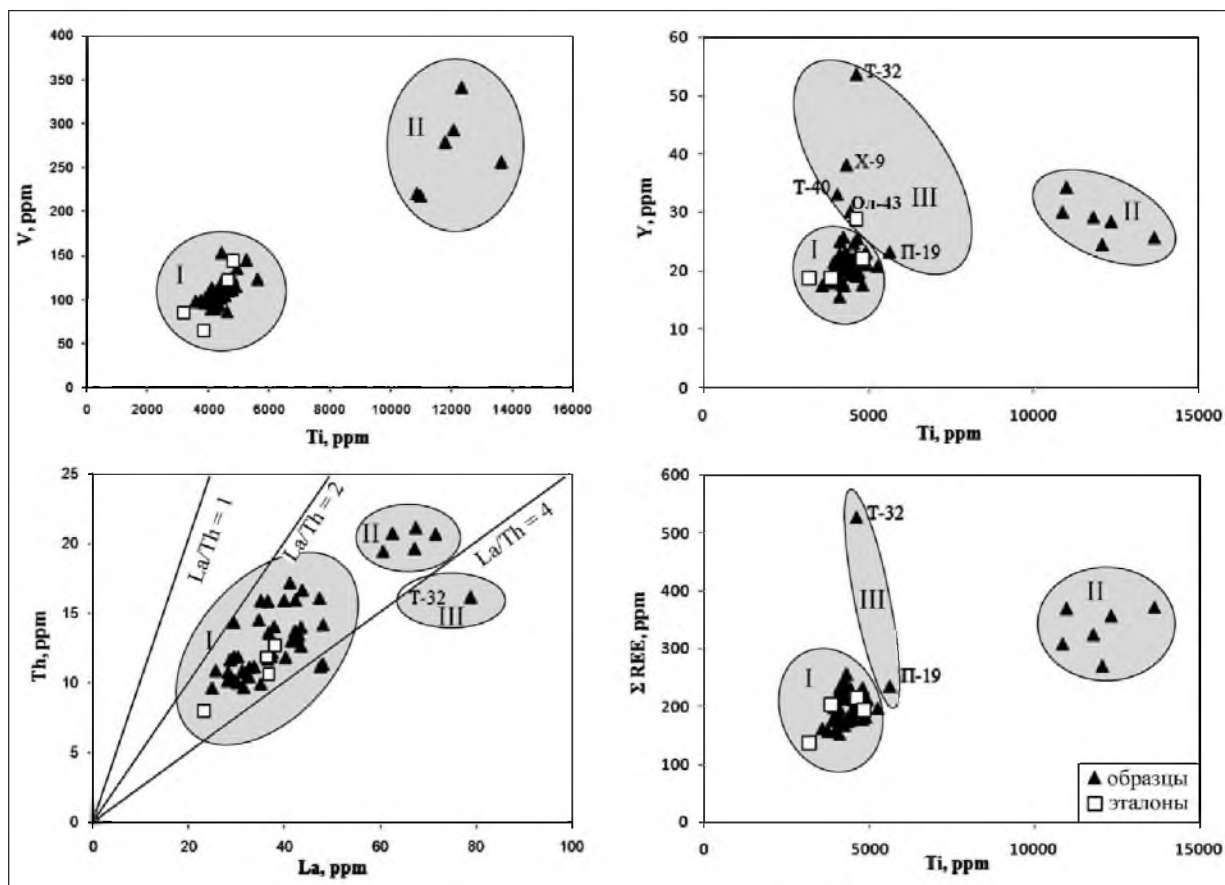


Рис. 1. Бинарные диаграммы Ti-V, Ti-Y, La-Th, Ti-ΣREE (ppm):

I – сосуды местного производства из железистой глины; II – горшки из нежелезистой глины; III – привозные сосуды (Поташева, Светов, 2013)

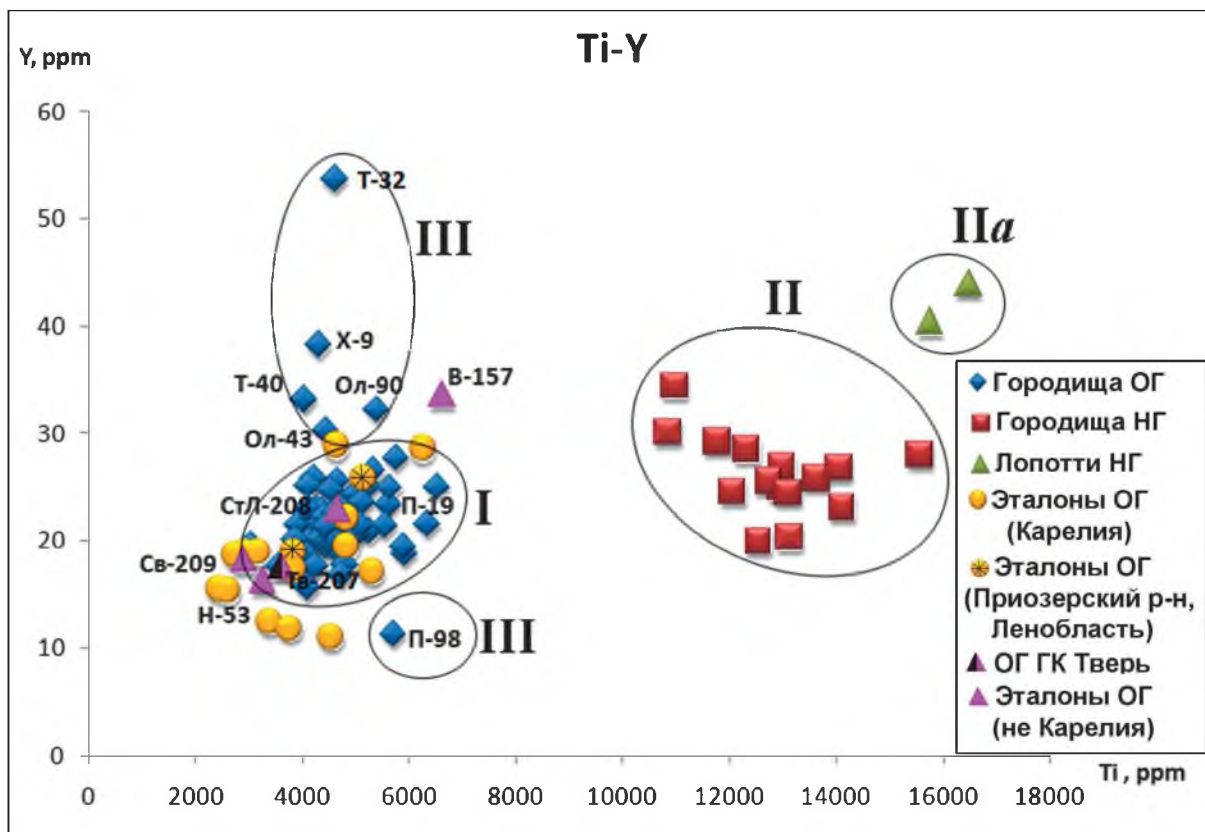


Рис. 2. Диаграмма Ti-Y (ppm):

I – сосуды местного производства из ожелезненной глины (ОГ); II – горшки из неожелезненной глины (НГ); IIIa – керамика Лопотти; III – привозные сосуды из ожелезненной глины. ГК – гончарная керамика (данные на 2018 г.)

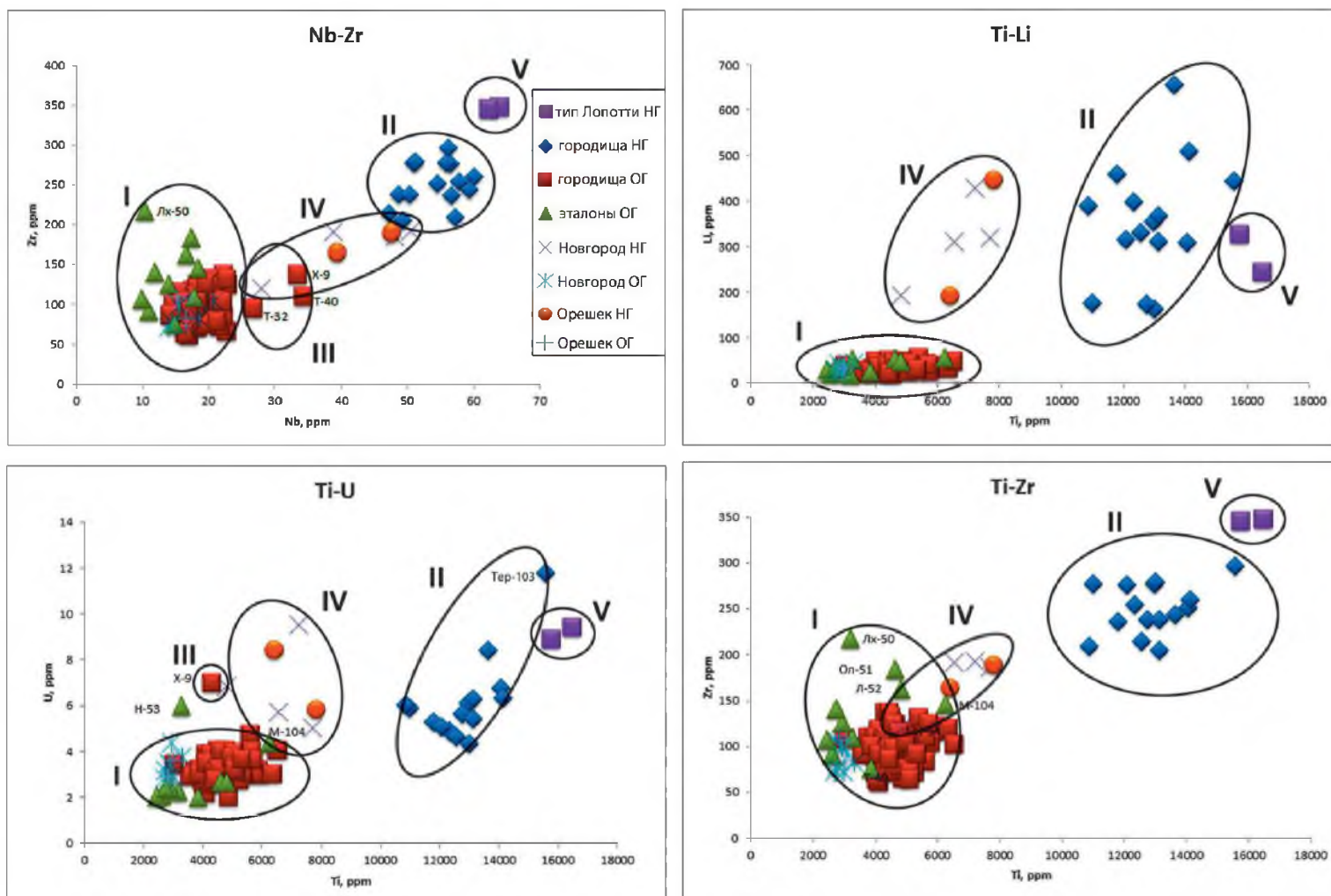


Рис. 3. Бинарные диаграммы Nb-Zr, Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr (ppm):

I – сосуды местного производства из ожелезненной глины (ОГ); II – сосуды из слабо- и неожелезненной глины (НГ); III – привозные изделия из ожелезненной глины; IV – белоглиняная керамика Новгорода и Орешка; V – керамика Лопотти (данные на 2014 г.)

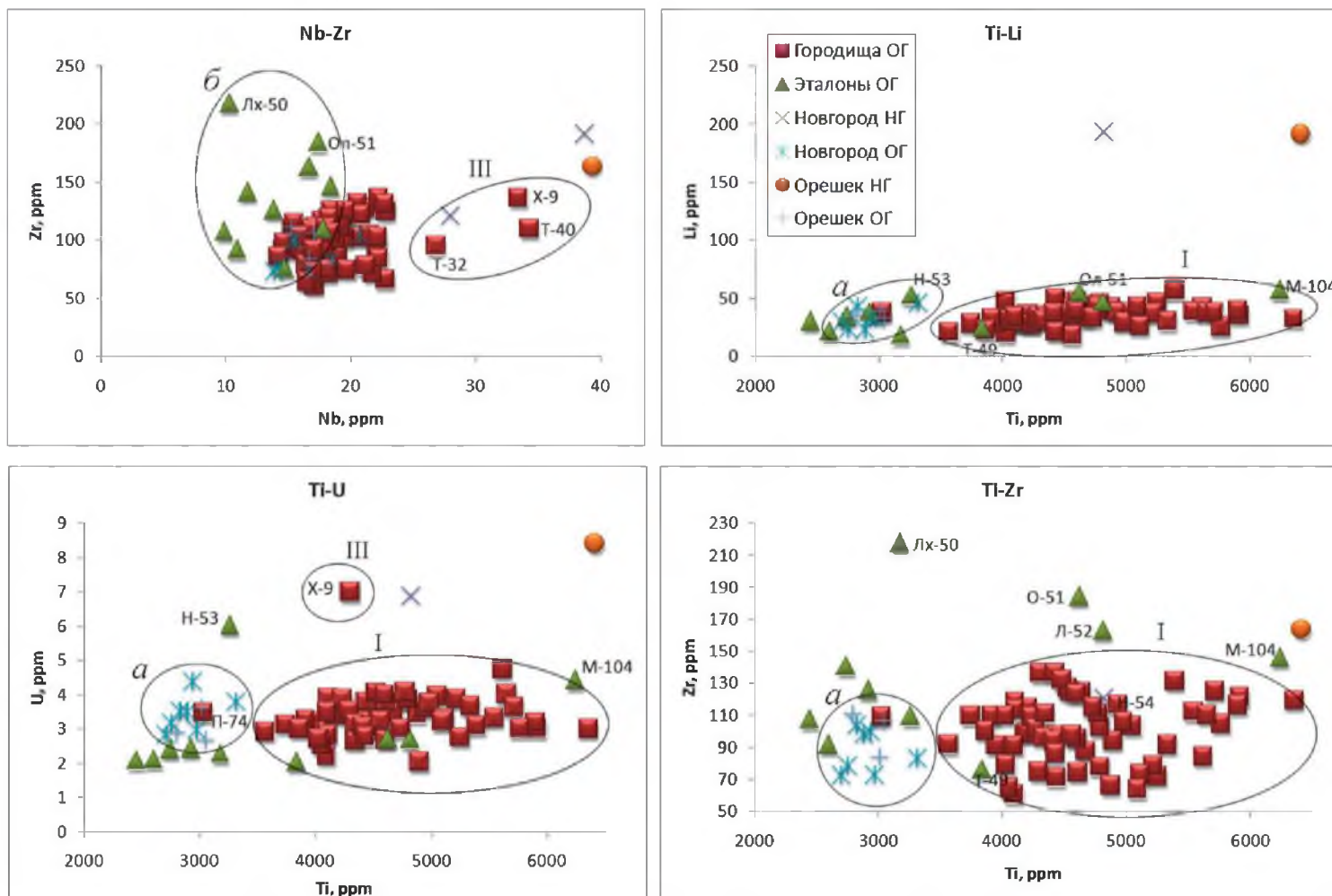


Рис. 4. Бинарные диаграммы Nb-Zr, Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr (ppm) с увеличением масштаба до 40 ppm по оси Nb для диаграммы Nb-Zr и 6500 ppm по оси Ti для диаграмм Ti-Li, Ti-U, Ti-Zr:

I – сосуды местного производства из железистой глины (ОГ); II – сосуды из слабо- и нежелезистой (НГ) глины (Тиверск, Паасо, Терву-Линнасаари); III – привозные изделия из железистой глины; *a* – группа новгородской и ореховецкой керамики из железистой глины; *b* – эталонные образцы проб глин (данные на 2014 г.)

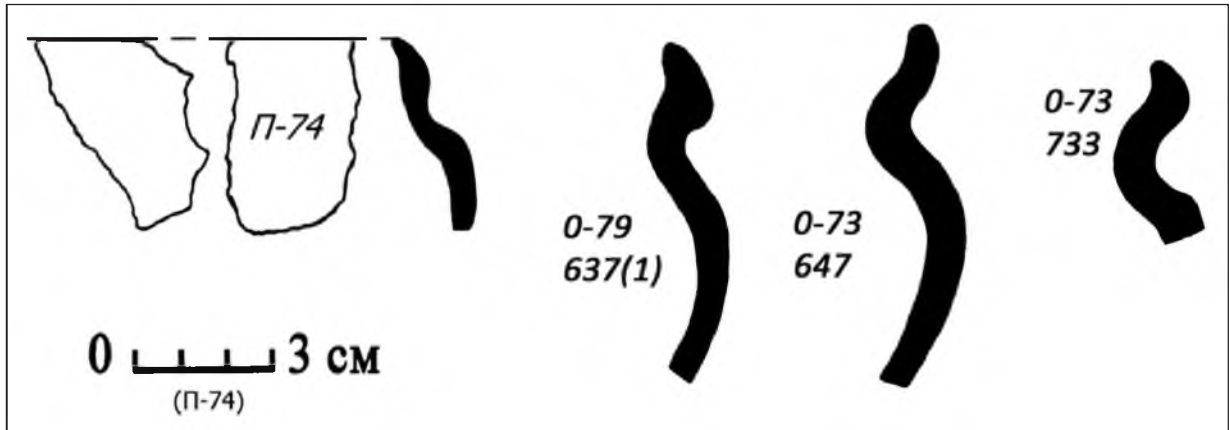


Рис. 5. Формы керамики городища Паасо (П-74) и крепости Орешек (О-79/ 637 (1), О-73/647, 733). Рисунок И. М. Сумманен

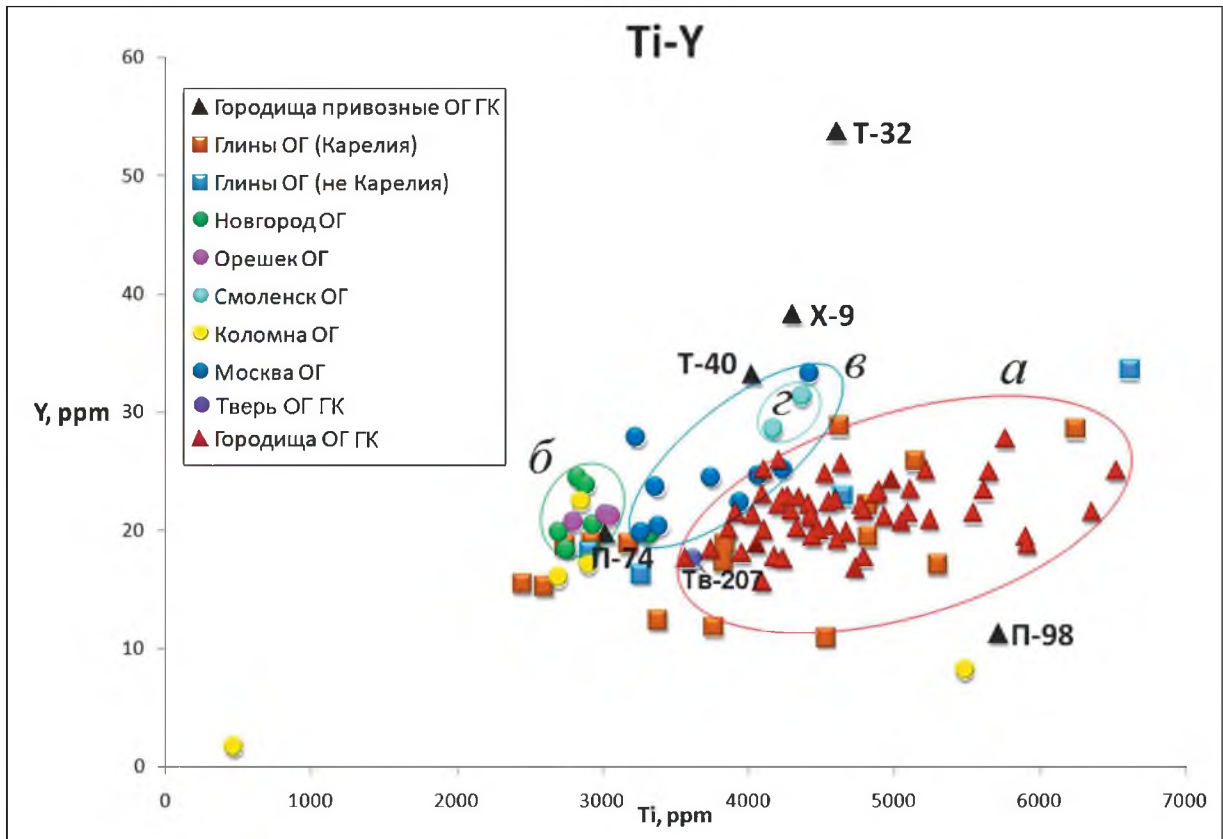


Рис. 6. Диаграмма Ti-Y (ppm) геохимических составов проб железненных глин (ОГ) и керамики городищ Северо-Западного Приладожья:

а – ФМ городищенской керамики и образцы сырья с территории Карелии; *б* – сосуды из Новгорода и Орешка; *в* – московская керамика и *г* – изделия из Смоленска

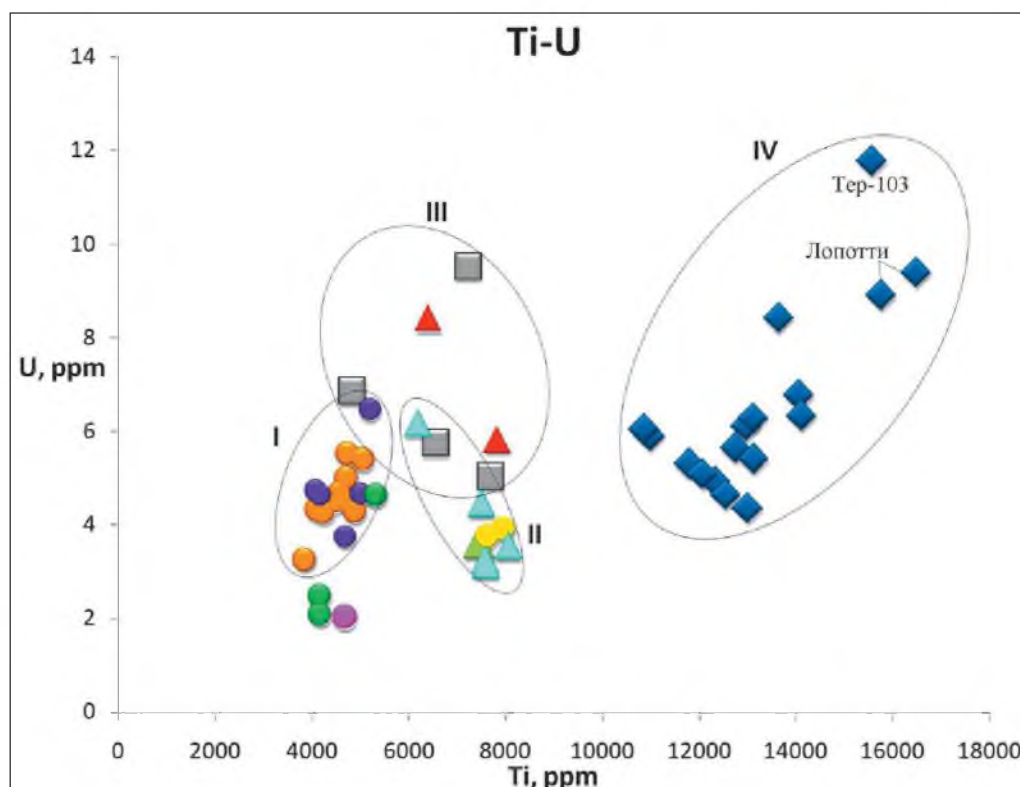
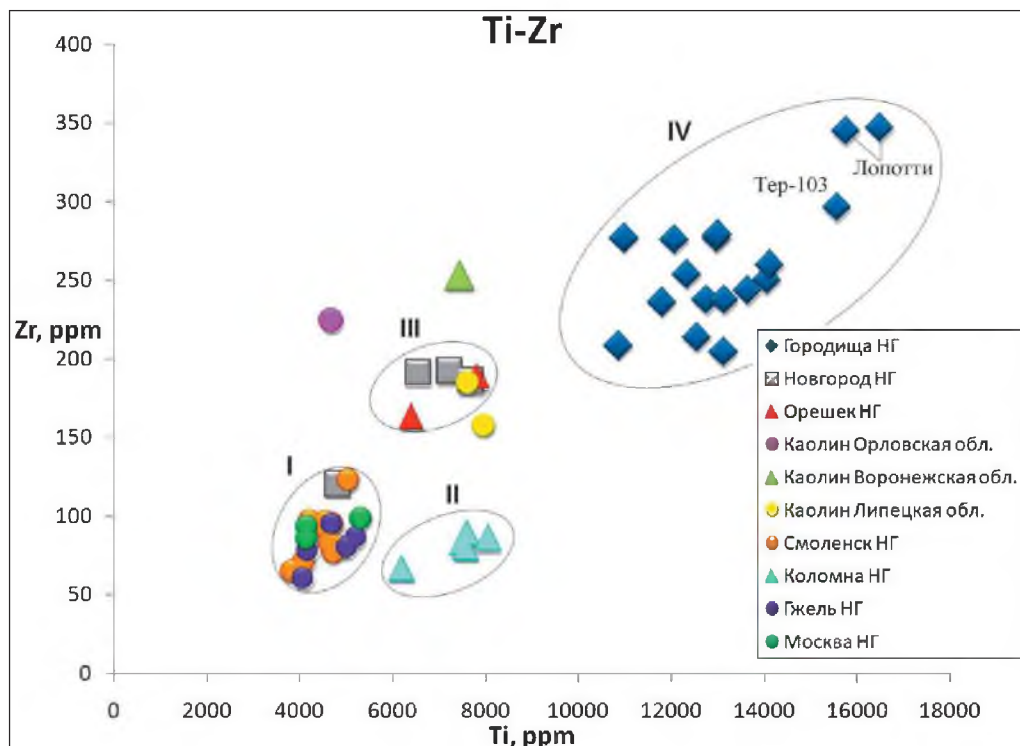


Рис. 7. Бинарные диаграммы Ti-Zr, Ti-U (ppm) геохимических составов проб белоглиняных глин и образцов ФМ белоглиняной керамики средневековых памятников Карелии, Северо-Запада и центра Древней Руси:

I – Гжель, Москва, Смоленск; II – Коломна; III – Новгород, Орешек; IV – городища Северо-Западного Приладожья (данные на 2014 г.)

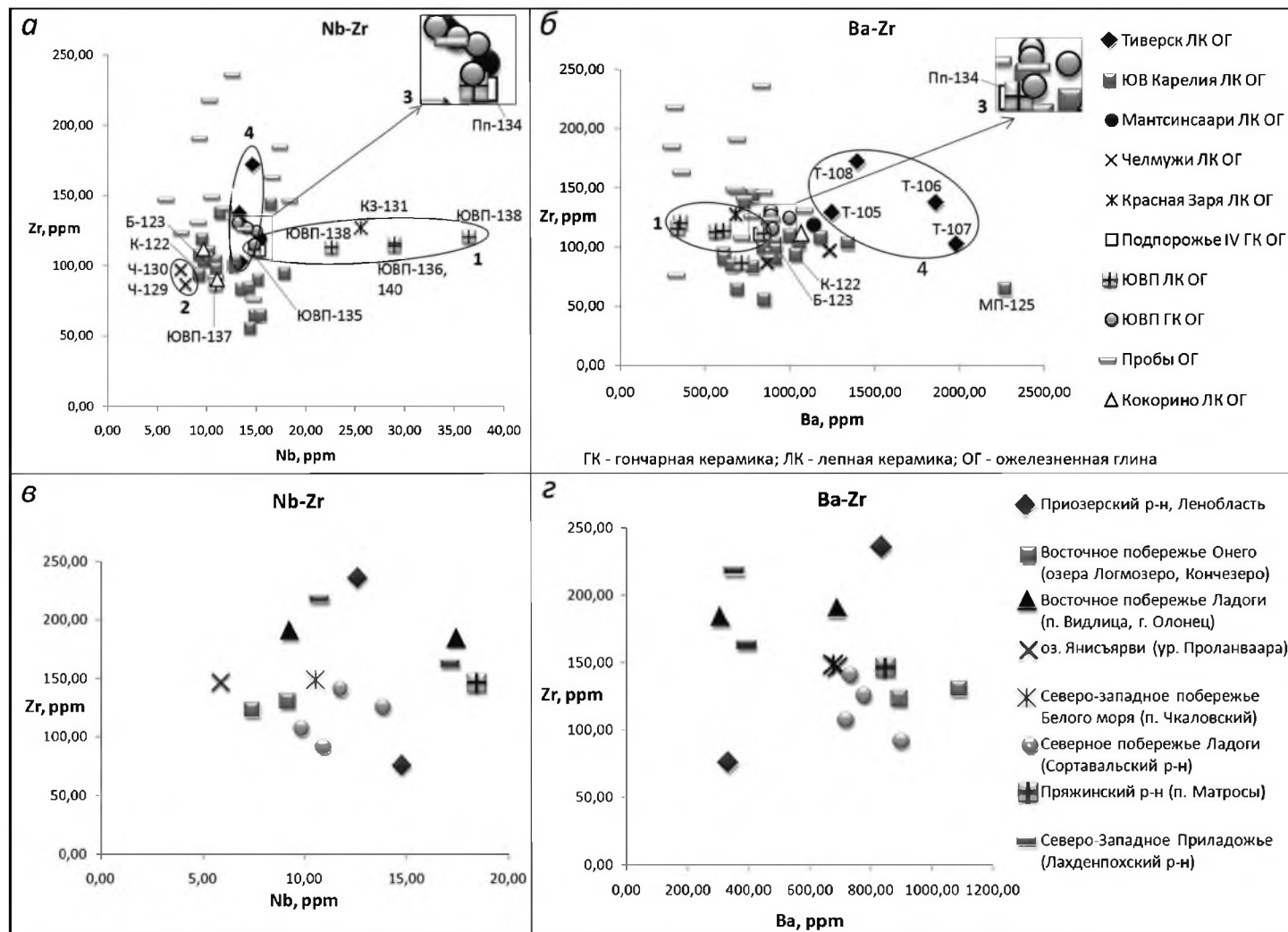


Рис. 8. Бинарные диаграммы Nb-Zr, Ba-Zr (ppm), иллюстрирующие химические составы:

а, б – образцов формовочных масс керамики и глинистого сырья; *в, г* – отдельно глин. Диаграммы *а, б*: 1 – лепная посуда Юго-Восточного Приладожья; 2 – горшки из погребений в Чёлмужах; 3 – гончарная керамика Юго-Восточного Приладожья; 4 – сосуды из догородищенских слоев Тиверска (Северо-Западное Приладожье)

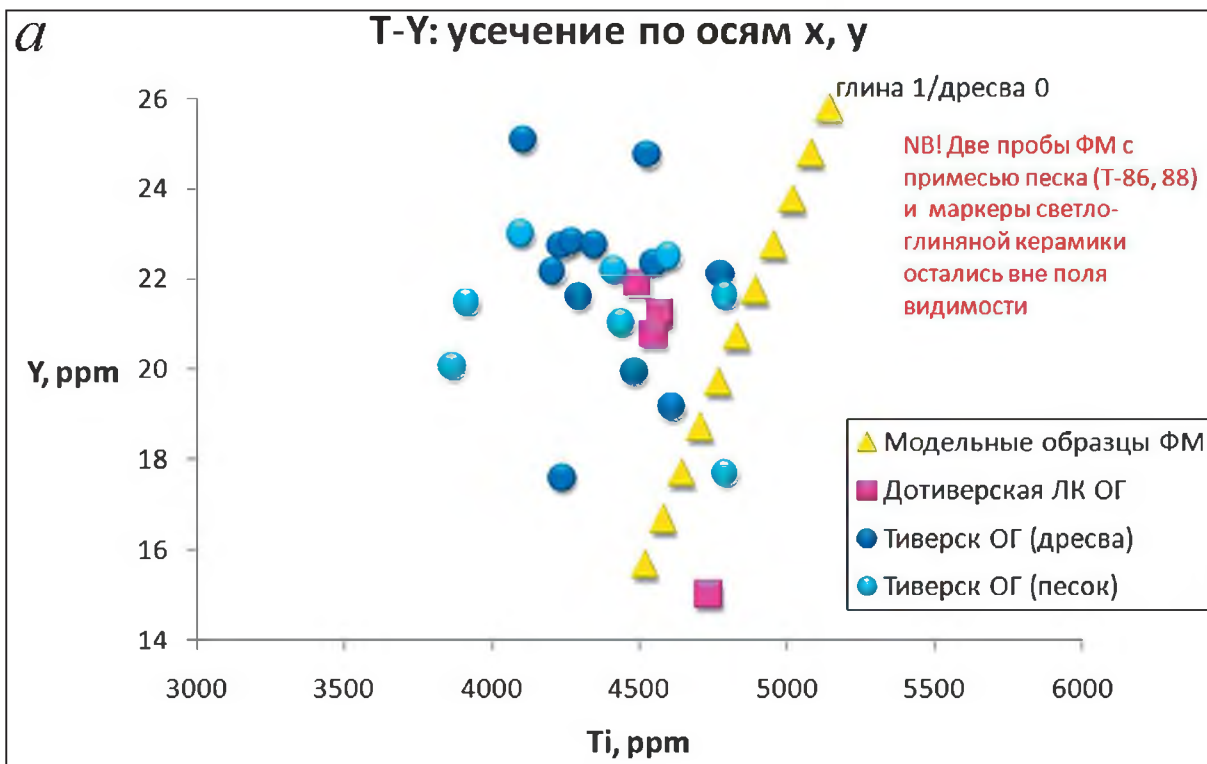
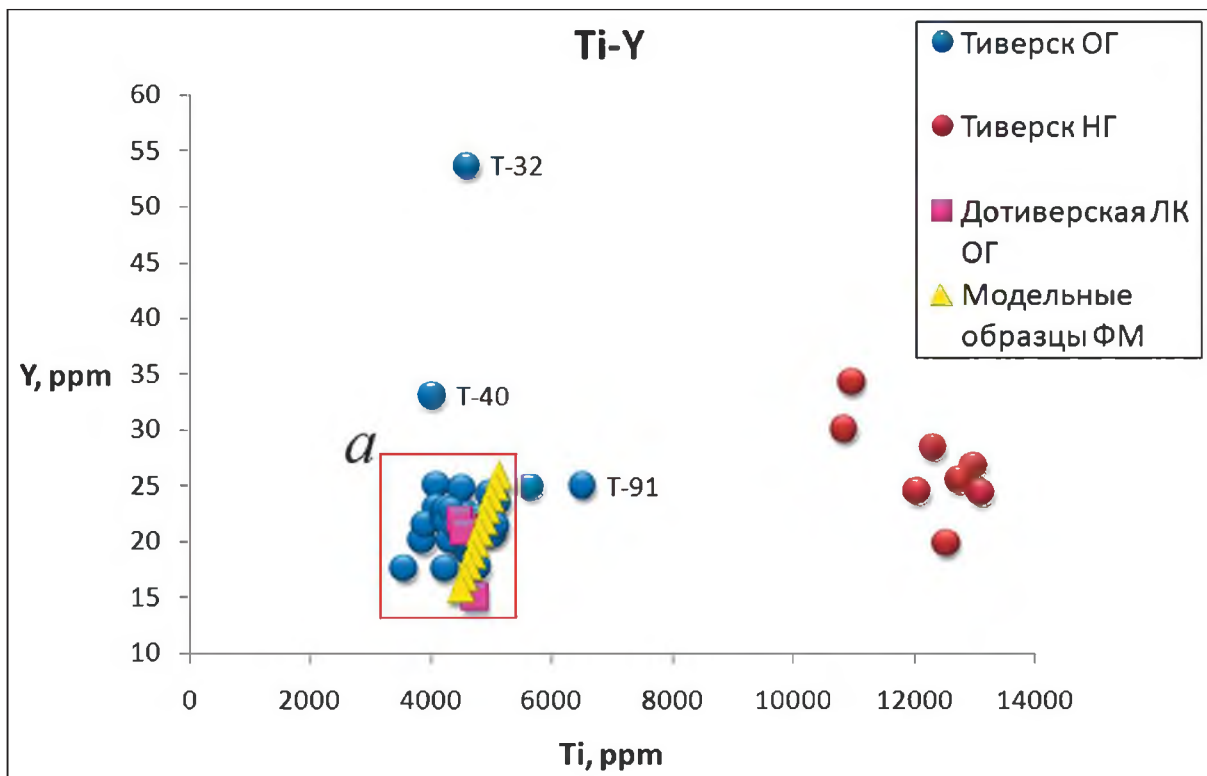


Рис. 9. Диаграммы Ti-Y (ppm) для образцов глин и теста керамики городищ Северо-Западного Приладожья (на примере Тивверска) с нанесением эталонного тренда математических моделей образцов формовочных масс:

ОГ – ожелезненная глина; НГ – нежелезненная глина; ЛК – лепная керамика

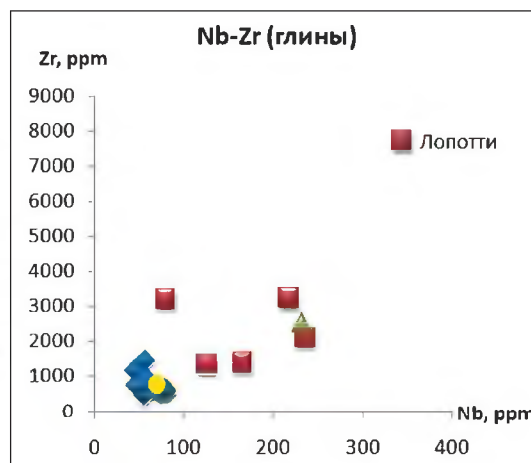
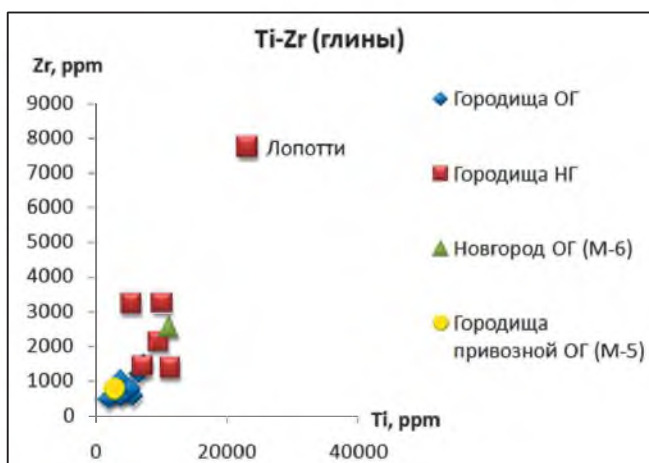
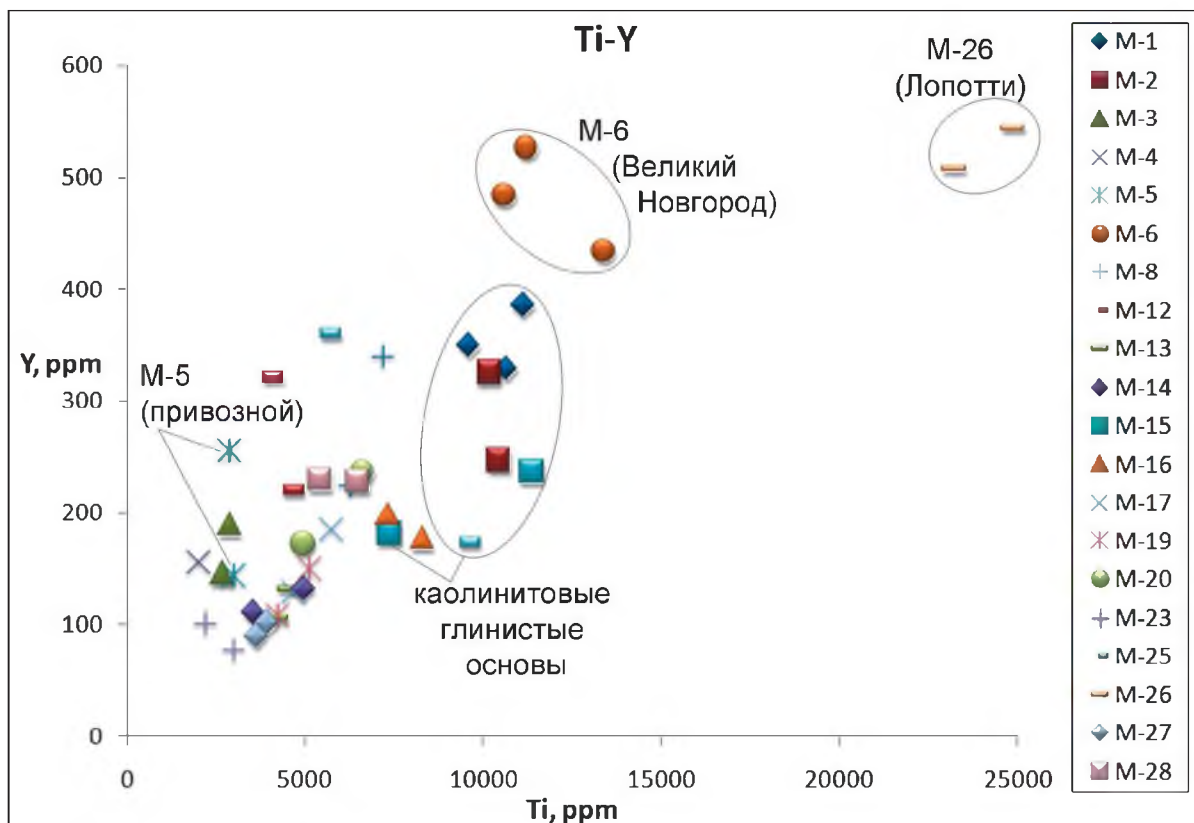


Рис. 10. Диаграммы Ti-Y (ppm) и Ti-Zr, Nb-Zr (ppm, по среднему значению) для составов глинистых основ формовочных масс керамики городищ Северо-Западного Приладожья (кроме привозного М-5) и Великого Новгорода (М-6). М-1, М-2, М-15, М-25, М-26 – сосуды из нежелезненной (каолинитовая) глины, остальные – из ожелезненной (иллит-монтмориллонитовая)

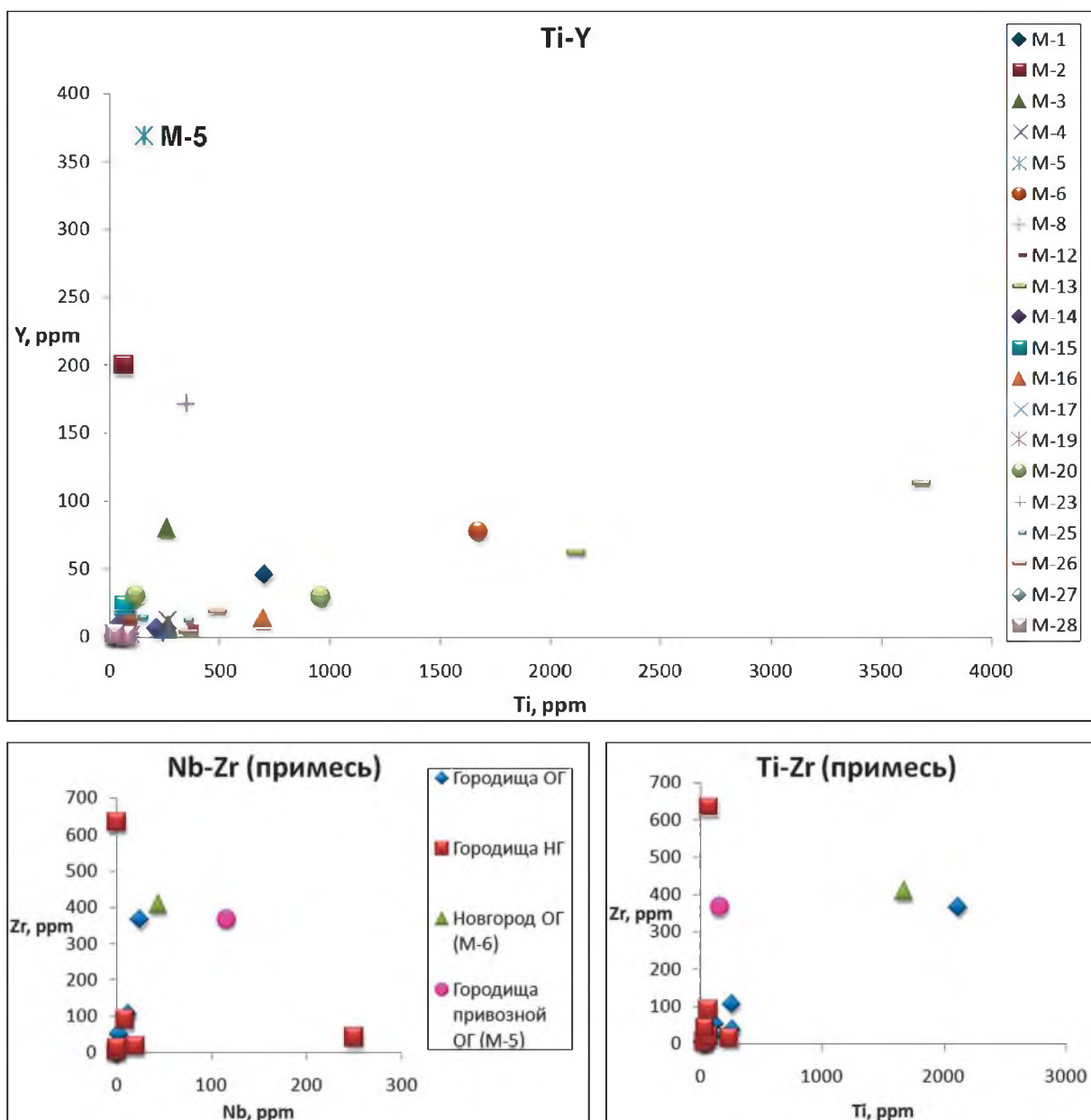


Рис. 11. Диаграммы Ti-Y (ppm) и Nb-Zr, Ti-Zr (ppm, по среднему значению) для составов отощающего минерального компонента формовочных масс керамики городищ Северо-Западного Приладожья (кроме привозного М-5) и Великого Новгорода (М-6). М-1, М-2, М-15, М-25, М-26 –сосуды из нежелезненной (каолинистая) глины, остальные – из железненной (иллит-монтмориллонитовая)

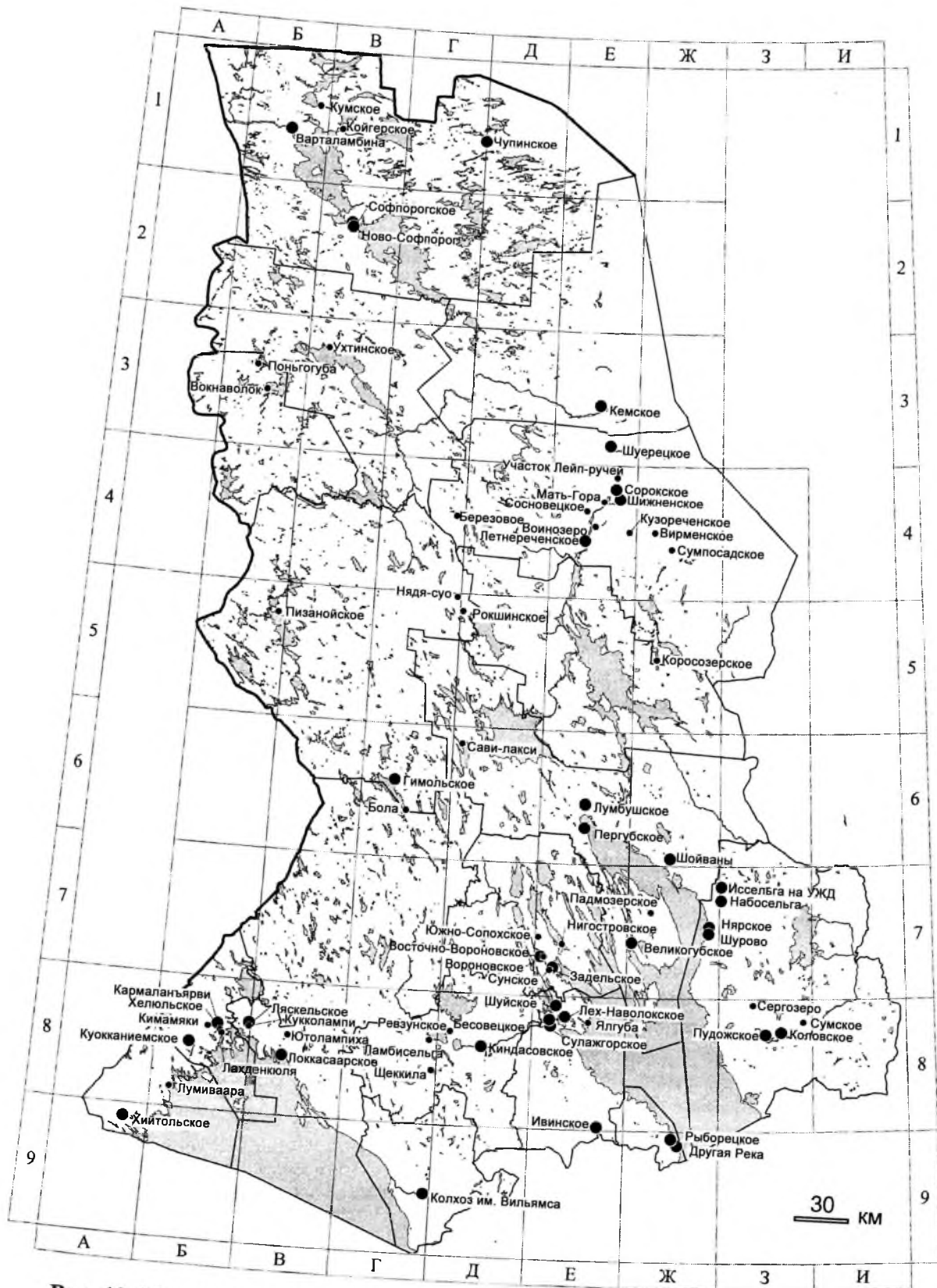


Рис. 12. Месторождения и проявления глинистых пород на территории Карелии (Леонтьев, 2006, с. 163)

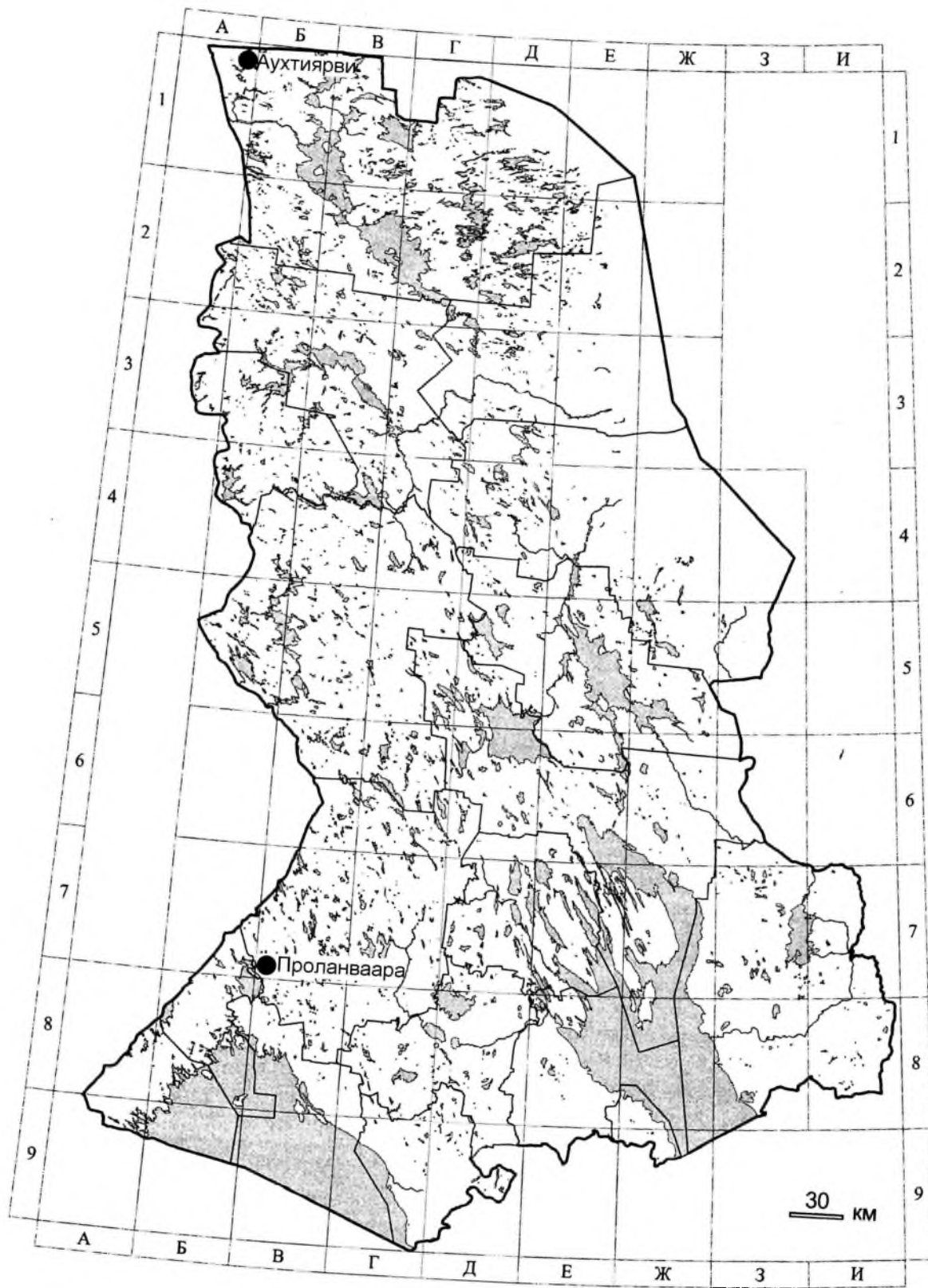


Рис. 13. Месторождения каолинов на территории Карелии
(Голованов, Михайлов, 2006, с. 53)

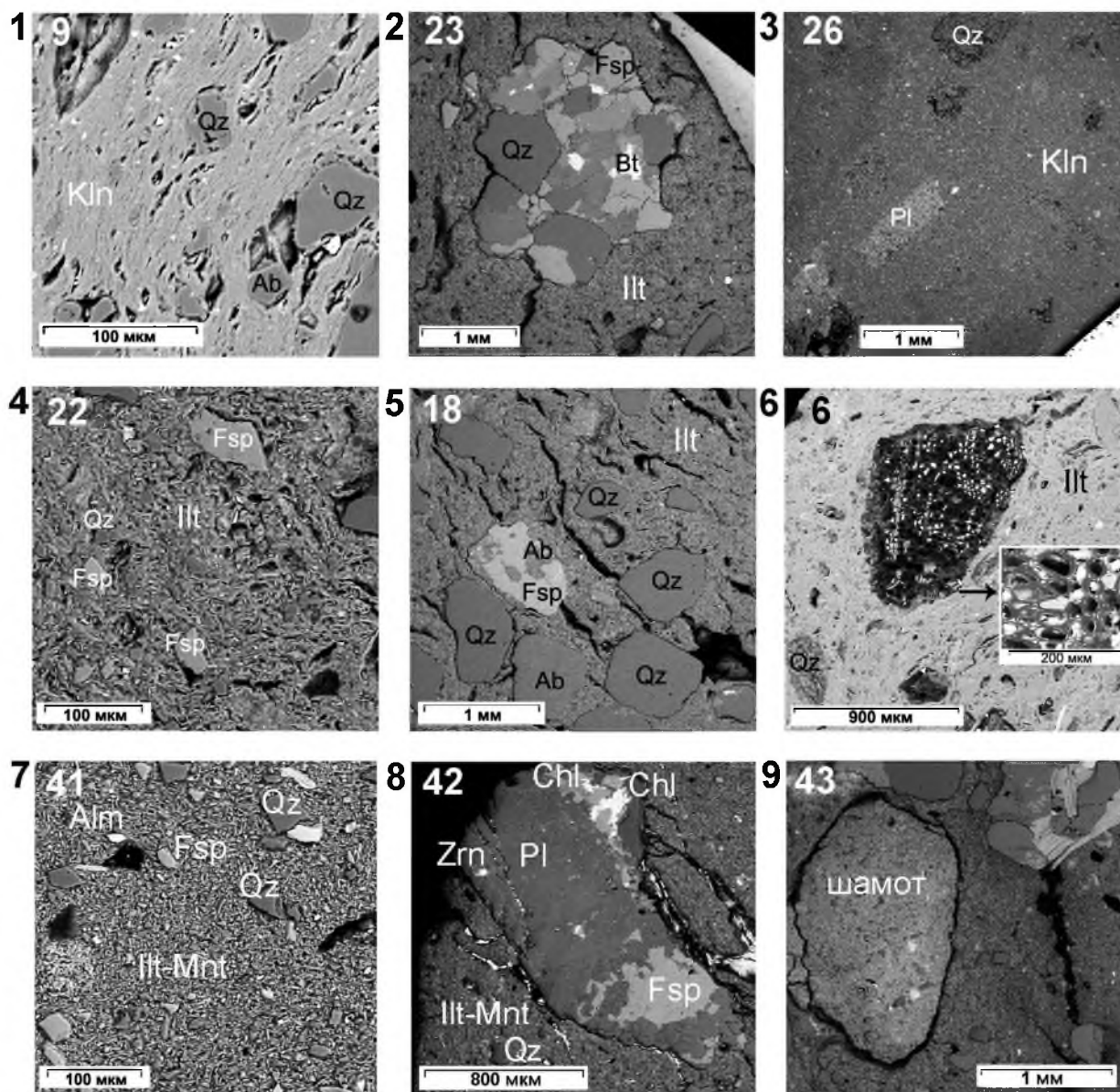


Рис. 14. Электронно-микроскопические изображения формовочных масс образцов гончарной (1–6) и лепной (7–9) керамики из раскопок городищ Северо-Западного Приладожья, полученные в режиме обратно рассеянных электронов (BSE):

1 – с каолиновой глинистой основой; 2 – с примесью дресвы; 3 – с признаками высокотемпературного обжига; 4 – с иллитовой глинистой основой; 5 – с песчаной примесью; 6 – с включением углеродистого вещества (древесный уголь); 7, 8 – с иллит-монтмориллонитовой глинистой основой и примесью дресвы; 9 – с зернами шамота. Съемка С. Ю. Чаженгиной

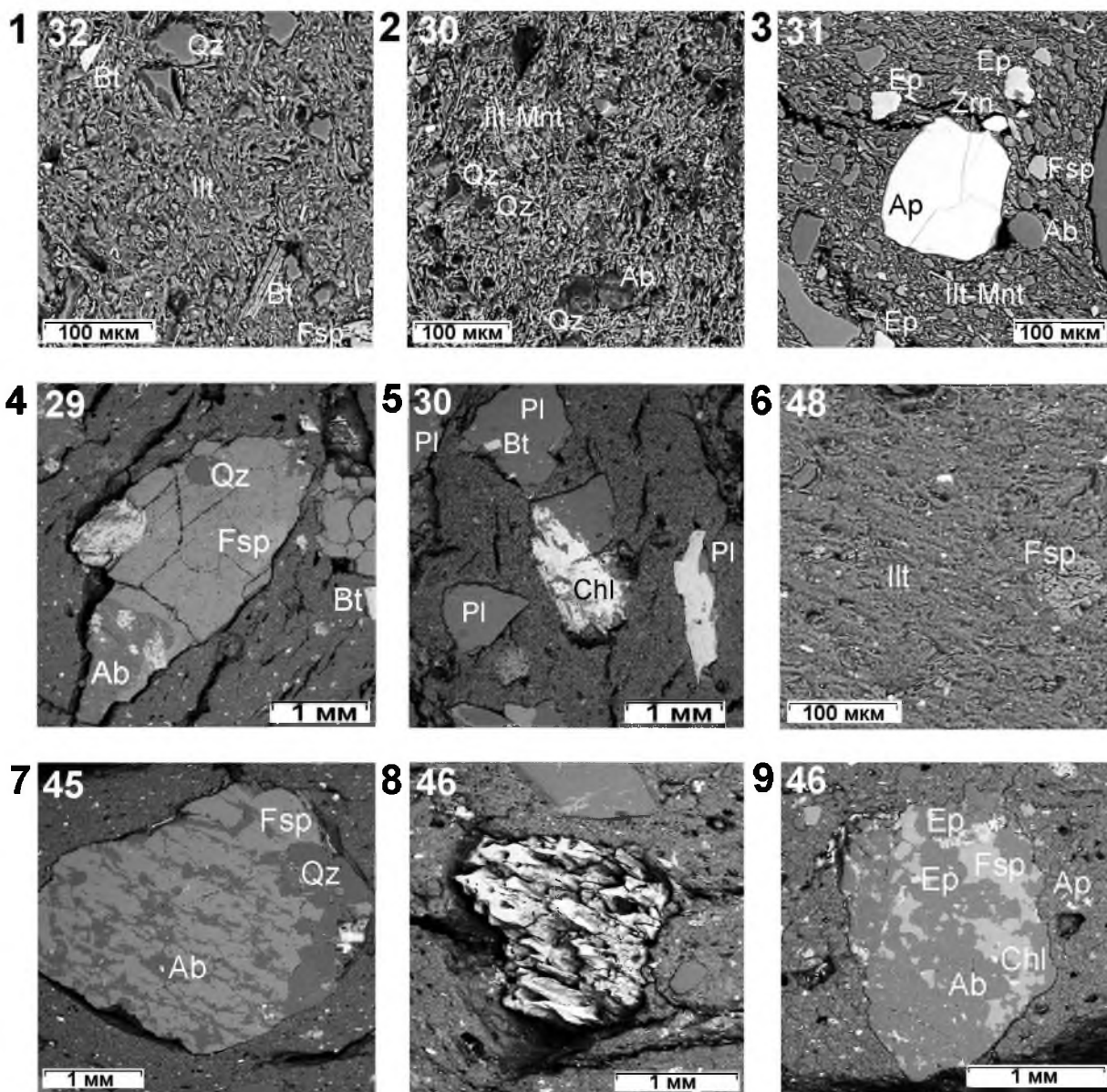


Рис. 15. Электронно-микроскопические изображения формовочных масс образцов лепной керамики охотничье-рыболовецких поселений Прионежья, Прибеломорья (1–5) и курганов Юго-Восточного Приладожья (6–9), полученные в режиме обратно рассеянных электронов (BSE):

1 – иллитового состава; 2 – иллит-монтмориллонитового состава; 3 – иллит-монтмориллонитового полиминерального состава; 4 – с примесью дресвы; 5 – с аксессуарным хлоритом в составе зерна дресвы; 6 – с иллитовой глинистой основой; 7 – с примесью дресвы; 8 – с включениями кости; 9 – с песком полиминерального состава. Съемка С. Ю. Чаженгиной