

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. РАЗЗАКОВА**

На правах рукописи

УДК: 666.3(575.2):001.891

ОРУЗБАЕВА ГУЛЬНАРА ТАЛГАТОВНА

**ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА В ПЕРИОД
II ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ ДО Н.Э. – XVI В. Н.Э. С ПРИМЕНЕНИЕМ
КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ АРТЕФАКТОВ**

07.00.10 – история науки и техники (исторические науки)

07.00.06 – археология

Диссертация на соискание ученой степени

доктора исторических наук

Научный консультант:

Борисов Василий Петрович
доктор технических наук,
главный научный сотрудник

Бишкек-2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИОГРАФИЯ РАССМАТРИВАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ.....	10
1.1. Археологические и научные исследования керамического производства	10
1.2. Современные методы в исследовании керамических артефактов.....	16
Выводы по главе 1.....	18
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД, ИСТОЧНИКИ И МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	20
2.1. Характеристики керамических центров.....	21
2.2. Технологический процесс изготовления керамических изделий.....	27
2.3. Методы комплексного исследования.....	34
Выводы по главе 2.....	44
ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ АРТЕФАКТОВ.....	45
3.1. Определение твердости.....	45
3.2. Определение кажущейся плотности, водопоглощения и открытой пористости.....	47
3.3. Определение химического состава.....	51
3.4. Определение кристаллической фазы.....	57
3.5. Исследование микроструктуры образцов.....	65
3.6. Количественный анализ микроструктуры по результатам растровой электронной микроскопии.....	72
3.7. Микроскопическое исследование.....	85
3.8. Исследование глазурей.....	98
Выводы по главе 3.....	106
ГЛАВА 4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ КЫРГЫЗСТАНА В ПЕРИОД II ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ ДО Н.Э.–XVI В. Н.Э. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	108
4.1. Определение температуры обжига.....	108
4.2. Определение источников сырьевой базы.....	117
4.3. Классификация по результатам комплексного метода исследования.....	134

4.4. Сравнительный анализ керамических производств по результатам комплексного исследования.....	137
4.5. Взаимосвязь физико-механических свойств, микроструктуры и температуры обжига	142
Выводы по главе 4.....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	149
ВЫВОДЫ.....	158
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	160
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	174
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	179

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На территории современного Кыргызстана имеется немало исторических городов и памятников разных эпох, где обнаружено множество керамических изделий, свидетельствующих об особенностях развития одного из важных для удовлетворения хозяйственных нужд производств, являющегося ценным материалом для изучения истории, экономики и культуры древности и средневековья. Поэтому изучение керамического производства как одного из важных источников по истории народов, проживавших на территории Кыргызстана, вызывает большой научный интерес. Изучение древнего и средневекового керамического производства на территории Кыргызской Республики носило в большей степени историко-археологический характер. На наш взгляд, такой подход ограничивает возможности системного анализа истории керамического производства Кыргызстана на фоне общего исторического развития страны. Кроме того, при исследовании керамических артефактов только археологическими методами часто дается их субъективное описание, которое может привести к ошибкам. Для сопоставления и проверки данных, полученных археологами, и получения полной информации о керамическом производстве необходимо проведение историко-технического исследования керамических артефактов.

В последние годы многие исследователи стали активно применять для изучения керамических артефактов, обнаруженных в различных регионах, различные современные методы. В то время как исследование кыргызских керамических артефактов¹ современными методами систематически не проводилось, что не позволяло получить технические характеристики керамических центров и реконструировать процесс возникновения и развития на территории республики керамического производства.

¹ В работе используется определение «керамические изделия Кыргызстана», «кыргызские керамические артефакты», под которым подразумевается керамическое производство народов, которые когда-либо проживали на территории Кыргызской Республики.

Вместе с тем до настоящего времени не сформировался перечень характеристик для комплексного исследования керамики и часто изучается одно из свойств керамических изделий. Разрозненные методы также обычно не позволяют получить полную технологическую информацию. В связи с этим актуальным является комплексное исследование керамических изделий, их разновидностей, по составу и качеству, позволяющее проследить эволюцию технологий, выявить их детали, установить особенности становления керамического производства, сравнить с керамическими производствами различных регионов мира. Вместе с тем проведение комплексного исследования является важным моментом для развития междисциплинарных научных исследований, которые позволят вывести археологию республики на новый уровень. Такой подход имеет большое значение для сохранения и реставрации керамических артефактов на территории Кыргызстана. Но если обратиться к комплексному исследованию технологии производства керамических изделий, их разновидности, составу и качеству, то откроются новые перспективы для подтверждения кыргызской древности.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.

Диссертация выполнена в Кыргызском Государственном техническом университете им. И. Раззакова и является инициативной работой.

Целью исследования является реконструкция технологий древних и средневековых керамических производств Кыргызской Республики, выявление закономерностей и тенденций их эволюции на основе комплексного подхода с использованием современных методов.

Основные задачи исследования:

1. выполнить анализ литературных источников с целью выявления степени изученности керамического производства рассматриваемого периода;
2. выполнить анализ древних и средневековых керамических центров, расположенных на территории Кыргызстана, керамические изделия которых были исследованы;
3. реконструировать технологию керамического производства в его историческом развитии;

4. применить современные методы: рентгенофлуоресцентный и рентгенофазовый анализы, оптическую и растровую электронную микроскопию, технические испытания на твердость по Роквеллу, метод гидростатического взвешивания для изучения керамического производства рассматриваемого периода с целью выявления закономерностей влияния тех или иных технологических приемов на состав и качество исследуемых изделий;
5. изучить химический, минералогический и фазовый составы керамических изделий разных регионов страны;
6. выявить динамику температурного режима обжига керамических изделий на территории Кыргызстана в период II тысячелетия до н.э. – XVI века, оказавшего влияние на изменение физико-механических свойств керамических артефактов и нашедшего отражение в их твердости, пористости и водопоглощении;
7. установить источники сырьевой базы, расположенных поблизости к изучаемому объекту;
8. классифицировать и систематизировать качественные характеристики керамических изделий рассматриваемого периода по результатам комплексного исследования.

Научная новизна исследования:

1. впервые предложен и реализован комплексный подход к исследованию истории технологий керамического производства Кыргызстана в период II тыс. до н.э. – XVI в. н.э. и его реконструкции, выявления закономерностей и тенденций эволюции на основе современных методов: рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов, оптической и растровой электронной микроскопии, технических испытаний на твердость по Роквеллу и метода гидростатического взвешивания;
2. составлена информационная база керамических центров, включающая следующие параметры для каждого из них: расположение, датирование, степень изученности;
3. выполнен анализ результатов экспериментальных исследований химического, минералогического и фазового составов, твердости, пористости,

водопоглощения, плотности, микроструктуры, в результате которого установлено влияние разных методов и приемов, используемых при изготовлении керамических изделий, на глинистый материал;

4. выявлена динамика температурного режима обжига исследованных изделий по полученным результатам комплексного исследования;
5. по результатам рентгенофлуоресцентного анализа определены вероятные месторождения глинистого сырья, которое могли использовать древние и средневековые керамисты;
6. проведена классификация качественных характеристик изученных изделий;
7. установлены общие и характерные черты технологии керамического производства различных областей республики;
8. впервые решена важная крупная научная задача – реконструкция истории технологии керамического производства на территории Кыргызстана в период II тыс. до н.э.–XVI в.

Практическая значимость полученных результатов. Результаты работы расширяют и углубляют представления о технологиях керамического производства на территории Кыргызстана в период II тыс. до н.э.–XVI в. и играют важную роль при проведении реставрации и сохранении объектов культурного наследия. В то же время их можно применить при написании работ по истории развития керамических производств Кыргызской Республики. Разработанный единый научный подход к исследованию древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана позволит определить уровень развития керамического производства на его различных этапах. Проведенные экспериментальные исследования могут быть полезны для дальнейшего изучения керамических артефактов, относящихся к разным историческим эпохам и обнаруженных на территории разных областей республики.

Комплексное изучение керамических изделий, обнаруженных в различных производственных центрах, позволит внести ощутимый вклад в историю развития науки и техники республики, поможет воссоздать полную картину историко-культурного наследия Кыргызстана. Результаты работы внедрены в Институте Истории и регионоведения Кыргызского Национального

университета им. Ж. Баласагына (в учебном процессе для обучения студентов); в Научно-исследовательском и проектном институте «Кыргызреставрация» (при проведении реставрационных работ и сохранении объектов культурного наследия в Кыргызской Республике).

Экономическая значимость полученных результатов. Разработанный научный подход исследования керамических артефактов позволит проводить реставрации и сохранение объектов культурного наследия на более высоком уровне.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. результаты выполненного анализа литературных источников, определяющие степень изученности керамических изделий и технологии их производства на территории Кыргызстана со II тысячелетия до н.э. до XVI в.;
2. информационная база по результатам обобщенного исследования керамических центров, позволяющая определить расположение, степень изученности и датировать керамическое производство на территории республики;
3. предложенный комплексный подход исследования современными методами, позволяющий изучить историю технологий керамического производства обозначенных периодов на территории современного Кыргызстана;
4. выполненный анализ результатов экспериментальных исследований химического, минералогического и фазового составов, твердости, пористости, водопоглощения, плотности, микроструктуры керамических артефактов, указывающий на совершенствование технологических процессов в исторической перспективе развития общества;
5. полученные результаты комплексного метода исследования, позволяющие определить динамику температурного режима обжига, источники сырьевой базы;
6. классификация качественных характеристик керамических изделий по результатам комплексного метода исследования;
7. проведенный сравнительный анализ полученных результатов, устанавливающий общие и характерные черты керамического производства различных областей республики;
8. проведенные исследования, позволяющие реконструировать историю

технологий керамических производств на территории Кыргызстана в период II тыс. до н.э. – XVI в. н.э.

Личный вклад соискателя:

1. разработан оптимально экономичный и информативный комплекс физико-химических и физико-механических исследований образцов древней и средневековой керамики Кыргызстана и обосновано их применение;
2. классифицированы и систематизированы качественные характеристики керамики Кыргызстана с точки зрения физико-механических и физико-химических свойств на основе разработанного комплексного экспериментального метода;
3. определена температура обжига древней и средневековой кыргызской керамики;
4. реконструирована природа используемых гончарных материалов и определены источники сырья древней и средневековой керамики Кыргызстана.

Апробация результатов исследования была представлена в докладах на международных и всероссийских конференциях: «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития», Бишкек (Кыргызская Республика), 2009; «Рахматуллинские-Ормонбековские чтения», Бишкек (Кыргызская Республика), 2015; «Актуальные вопросы общественных наук: социология, политология, философия, история», Новосибирск (Российская Федерация), 2015; «Роль и место машиностроения в развитии приоритетных отраслей экономики», Бишкек (Кыргызская Республика), 2018; «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России» (Российская Федерация), 2019.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Результаты выполненных исследований опубликованы в 31 печатных работах, 11 из которых опубликованы в научных рецензируемых журналах, входящих в рекомендованный перечень НАК КР, 24 – в РИНЦ РФ, в том числе входящих в базу данных Scopus и Web of Science – 7.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и источников, приложения.

ГЛАВА 1

ИСТОРИОГРАФИЯ РАССМАТРИВАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Археологические и научные исследования керамического производства

Территория современного Кыргызстана, начиная с глубокой древности, была местом, где пересекалось множество народов и культур. Ранние следы присутствия человека и его деятельности уводят в нижний древнекаменный век трехсоттысячелетней давности. Самые ранние предметы, изготовленные руками человека, – каменные орудия труда – обнаружены в Центральном Тянь-Шане, на побережье Иссык-Куля и в Ферганской долине. Во II тысячелетии начинается интенсивное освоение металла, и каменные орудия постепенно вытесняются бронзовыми. Эпоха бронзы оставила интересные следы присутствия человека и активных видов его деятельности. Благодаря археологическим раскопкам обнаружено, что основными видами хозяйственной деятельности было кочевое скотоводство в Чуйской и Таласской долинах и на Тянь-Шане и оседлое земледелие в Ферганской долине. В могильниках эпохи бронзы, обнаруженных на обозначенных территориях, были найдены керамические сосуды для жертвенной пищи и другие предметы быта. Через территорию современного Кыргызстана пролегали пути саков, юэджей, усуней, древних потомков кыргызов. Все это не могло не оставить свой след в самобытной культуре нашего народа, в его картине мира и видах деятельности, который он осваивал, используя достижения своих предшественников и соседей и обогащая их своим опытом.

Развитие знаний у древних кыргызов шло параллельно по двум направлениям: естествознание и техника; обобщенное абстрактное знание. Истоками технологической культуры являлось обобщенное абстрактное знание о мире, об

обществе и о человеке в виде мифов, религии и зачатков философии, которые давали не только объяснение о происхождении мира и его устройстве. Но эти виды мировоззрения существовали не раздельно, а составляли целостное миропонимание, в котором различные представления связаны в единую образную картину мира, сочетающую в себе реальность и фантазию, знание и веру, поэтому трудно различить грань между реальным и ирреальным. Технологические навыки человека также развивались, опираясь на рекомендации мифа и находили свое воплощение в различных магических действиях и ритуалах. С течением времени технологическая культура обретала самостоятельность и расширяла свое предметное богатство, удовлетворяя все возрастающие потребности человека. Известно, что на территории Кыргызстана вплоть до XIX она носила утилитарный характер.

Таким образом, путем осмысления складывающихся в течение длительного периода традиций технического творчества, приобщения к глобальному процессу научно-технического прогресса была создана фундаментальная база для обеспечения развития ведущих отраслей производства. Становление научно-технического потенциала в республике имеет свои специфические особенности, с одной стороны, они связаны с ее многовековой самобытной культурой, своеобразными природными условиями, с другой, непрерывным освоением опыта своих соседей, примером чему является керамическое производство.

На каждом этапе культурно-исторического процесса складывалось исторически определенное производство со своим составом, структурой и формами. Соответствующий этап характеризовался тем или иным видом деятельности человека, который в дальнейшем и определял развитие народного хозяйства в целом. В становлении и развитии промышленного производства на территории Кыргызстана важная роль принадлежала керамическому производству, которое в дальнейшем приобретало все большую популярность. Его лидирующая роль сохранялась до наших дней не только в Кыргызстане, но и в Средней Азии.

Археологические исследования на территории Кыргызстана ведутся со второй половины XIX в. и продолжаются до настоящего времени. Среди

археологических артефактов, керамические изделия, как наиболее представленный и хорошо датируемый материал, имеют особое значение. В силу научной значимости, керамические изделия описаны и изучены во многих историко-археологических работах и отчетах, характеризуя в той или иной мере керамические производства того или иного района определенного периода [96, с. 394]. Так, Л.А. Евтюхова описала керамические изделия енисейских кыргызов, особо отмечая кыргызские вазы, ценившиеся за форму и качество [46]. А.Н. Бернштам дал классификацию приемов орнаментации для согдийского и карлукского периодов [18]. Керамические изделия Ферганы описал Ю.А. Заднепровский [50], Иссык-Кульским керамическим артефактам уделили внимание такие ученые как Д. Винник [26], В.В. Плоских [101], керамические изделия Тянь-Шаня описала К.И. Ташбаева в 2011 году [126].

Обобщенным трудом по Семиречью является труд «Основные этапы истории культуры Семиречья и Тянь-Шаня» автора А.Н. Бернштама [17]. Автор охарактеризовал типические черты в керамических комплексах «более подробно для ранних (дофеодальных) эпох и кратко для средневековья». А.Н. Бернштам обобщил тимуридские слои городищ Шельджи (Талас), Ашпара (Чуйская долина), Атбаш (Тянь-Шань) и отметил, что «в них преобладает неполивная керамика, покрытая светлым (белым или желтоватым) ангобом», а также «характерны массивные крупные сфероконусы желтоватого цвета».

Керамическое производство Таласской долины также было исследовано П.Н. Кожемяко [60]. В обнаруженных керамических изделиях Чимкентского городища, расположенного на р. Кара-Суу Кировского района, «количественно преобладает голубая полива с черной росписью и неглубокой гравировкой. Гораздо реже встречаются сосуды с ярко-зеленой и желтовато-коричневой поливой». Автор подробно описал чаши, которые составляли подавляющее большинство среди сосудов с голубой поливой и подробно описал композицию их орнамента. П.Н. Кожемяко также отметил, что поливная керамика монгольского времени резко отличается от караханидской неполивной, которая «не имеет столь резких отличий, наоборот, некоторые традиции гончарного

производства продолжают бытовать и в монгольское время».

Говоря о кыргызских керамических изделиях, мы будем иметь в виду не только керамические изделия собственно кыргызского производства, но и керамические изделия, входящие в комплекс археологических памятников, обнаруженных в разные периоды времени на территории современного Кыргызстана, и относящиеся к периодам саков, усуней и других племен и народов, населявших нашу страну. И здесь важно выделить существование на нашей территории двух археологических культур – Чустской и Андроновской, богатых керамическими артефактами.

Андроновская археологическая культура представлена культурами бронзового века, распространявшаяся в период II тысячелетия до н.э. на территории Западной Сибири, Южного Урала, западной части Средней Азии и Казахстана. Основными находками, обнаруженными в могильниках андроновцев, явились глиняные предметы необычной формы. Сосуды были плоскодонными, с выпуклыми боковыми поверхностями, диаметр дна был меньше диаметра горлышка, но высота сосуда была почти равна диаметру. Украшены они были затейливым геометрическим орнаментом, представлявшим собой зигзагообразные полосы и вдоль горлышка треугольнички. Этот орнамент наносился с помощью мелкозубчатого или гребенчатого штампа.

Чустская археологическая культура, испытавшая влияние культуры андроновской, – это культура эпохи поздней бронзы, II–I тысячелетий до н.э. Она развивалась на территории Ферганской долины и была представлена поселениями древних земледельцев. Для этой культуры было характерно развитое производство керамики, изготавливаемой ручным способом. Эти керамические изделия имели свои отличительные особенности – они были расписными. Роспись представляла собой геометрический орнамент, нанесенный черными прорезями по красному ангобу.

Многие ученые, исследовавшие кыргызские керамические изделия, приводят аналогии с керамическими изделиями среднеазиатскими, имея в виду именно керамические изделия обозначенных выше археологических культур, так

как история развития кыргызского керамического производства тесно связана с развитием керамического производства в среднеазиатском регионе, но кыргызское производство занимает при этом совершенно определенное положение в керамическом производстве народов Средней Азии.

Так, Ю.Д. Баруздин и Г.А. Брыкина [9] глубоко и всесторонне исследовали керамические изделия Баткена. Глазурованные керамические изделия XIV–XV вв. описаны по двум группам: 1) поливные глиняные изделия; 2) неполивные глиняные изделия. В каждом из разделов дается довольно подробное конкретное описание образцов того или иного вида. Характеризуя керамические изделия, обнаруженные в различных производственных центрах Баткена, авторы приводят аналогии, известные по другим объектам Средней Азии, например, Ходжента.

А.Н. Бернштам [16] кратко коснулся раскопок и находок Узгенского городища, а основное внимание уделил характеристике особенностей Узгенского комплекса городищ и значения Узгена в истории Ферганы и Средней Азии. Наиболее полно исследовал керамические изделия средневекового Узгена Ю.А. Заднепровский, который выделил семь типов керамических изделий, различающихся по составу массы и способу изготовления, характеру орнаментации и назначению. Он также отметил, что «обнаружение средневековой расписной керамики свидетельствует о возрождении традиции, уходящей корнями в глубокую древность. Появление ее не только в Фергане, но и в других районах Средней Азии почти в одно и то же время, по-видимому, не случайно» [50, с. 76].

Е.З. Заурова исследовала керамические изделия Ак-Чия XIV–XVII вв., которые были представлены сравнительно немногочисленными находками поливной и неполивной посуды: «Часть поливной керамики составляют фрагменты сосудов на глиняной основе. Фрагменты мелкие, с темно-зеленой или черно-бело-голубой гаммой покрытия. Неполивная керамика представлена в основном маловыразительными фрагментами сосудов различных форм станкового и лепного производства» [56, с. 92]. Автор приводит аналогии, известные по другим объектам Средней Азии, например, Самарканда.

А.Н. Бернштам наиболее полно изучил керамические изделия тимуридского периода Семиречья [13], отмечая изделия с голубой глазурью как типичные для этого периода. В.И. Распопова, исследуя типы керамических изделий Семиречья, формы которых характерны для керамики Согда, отметила, что «если датировка этих кувшинов А.Н. Бернштамом верна, то традиция, занесенная в Семиречье из Согда VII–VIII вв., дожила здесь даже до XIV в.» [104, с. 82].

А.Н. Бернштам также исследовал керамические изделия Таласской долины: «...выразительная керамика с подглазурной росписью синим растительным орнаментом (стебель, лист, цветы), характерной для Мавераннахра и Ирана XV в., свидетельствуют о том, что жилой комплекс можно отнести к XV в.» [15, с. 48]. В этой же работе он описал конструкцию обнаруженной печи: «Печь в плане круглая (диаметр внутри 0,57х0,60 м), с вертикальными стенками. Внутри – глиняная обмазка, сохранившаяся до высоты 0,32 м, украшенная рядами вертикальных врезных полос – поочередно прямых и волнистых, по 8-9 штук в группе. Верхняя часть стен печи закругляется, образуя свод, но он разрушен. Стенки толщиной в 10-13 см снаружи укреплены камнями, галечником и кусками битой керамики» [15, с. 63].

Как показывает анализ литературы, часть работ вышеуказанных авторов относится к общеисторическим исследованиям, основанным на сочетании общенаучных методов. Некоторые работы относятся к историческим, основанным на методах изучения тех или иных конкретных исторических явлений, или историко-археологическим исследованиям, основанным на методах изучения и реконструкции обществ прошлого, и не относятся к историко-техническим исследованиям, основанным на методах технических и естественных наук, не затрагивают технологию керамического производства, ее развитие и эволюцию в исторической ретроспективе.

1.2. Современные методы в исследовании керамических артефактов

В изучении древних керамических изделий историко-технические исследования проводятся с целью получения информации о керамическом производстве различных регионов и периодов. Так, микроскопический анализ параллельно с химико-технологическим применялся в исследованиях М.А. Безбородова [10] и Н.С. Гражданкиной [38]. В сборнике «Археология и естественные науки» ряд статей посвящены вопросам исследования древних керамических изделий с применением физических и химических методов исследования [6]. В данной работе проведена попытка рассмотреть некоторые особенности развития технологии среднеазиатского керамического производства по результатам химического, спектрального, микроскопического, рентгеновского анализов.

А.А. Бобринский в своей статье рассмотрел вопросы изучения древней керамики с применением методов исследования точных наук, в частности, метода спектрального анализа [20]. Специально вопросу изучения технологии глазурей бытовой керамики посвящена статья Ф.А. Бурнашевой [24]. В работах Э.В. Сайко были подробно исследованы глазури Самарканда, Нисы, Хорезма и некоторых других ремесленных центров Средней Азии с применением методов спектрального полуколичественного, химического и микроскопического анализов [109, 111]. В статье С.И. Валиулиной и ее соавторов отражены результаты исследования химического состава глазурей архитектурного декора с территории Хорезма и Золотой Орды [25].

Определению температуры обжига древних керамических изделий Средней Азии посвящен целый ряд работ. Так, Э.В. Сайко подробно исследовала режим обжига керамических изделий древних городов Хульбука, Магианы, Афрасиаба и других ремесленных центров региона [114, 116]. Б.Н. Виноградова исследовала режим обжига керамики древнего Хорезма [29].

И.С. Жущиховская и Б.Л. Залищак [48] применили петрографический анализ для исследования древних керамических изделий Приморья на основе работ авторов Э.В. Сайко [110, 112, 116, 117, 118], Э.В. Сайко и Л.В. Кузнецовой [120], О.Ю. Круг [65, 66]. По результатам работ И.С. Жущиховская выпустила монографию, в которой исследует керамическое производство Дальнего Востока с применением методов естественных наук [47]. Е.В. Ламина, Э.В. Лотова, Н.Н. Добрецов [68] предложили схему реконструкции технологий керамического производства по результатам рентгенофазового термического анализов и ИК-спектроскопии. В.А. Дребущак, Л.Н. Мыльникова, Т.Н. Дребущак [42] впервые предложили применение комплекса методов физико-химических исследований древней керамики, а также разработали и опубликовали методику проведения термического и рентгенофазового анализов [43]. В.А. Борисов определил твердость керамики методом Бринеля и классифицировал ее по физико-механическим показателям [21]. В.И. Молодин и Л.Н. Мыльникова использовали петрографию, порошковую рентгенографию и термический анализ для исследования древней керамики [78, 79, 80]. В статье В.О. Козьминых и его соавторов отражены результаты исследования образцов древней керамики методами структурного физико-химического анализа [63]. Т.В. Осипова рассмотрела возможность применения в археологических исследованиях методов естественных наук [99].

Важным своеобразным методическим пособием является сборник под названием «Качественные методы исследования» [134], в который вошли различные статьи о методах исследования археологического материала, в том числе глазурованной керамики, и приведена библиография по этим вопросам.

Особое место в качестве методического руководства занимает книга А. Шепард [141], в которой рассмотрены различные способы исследования археологической керамики, изложены точки зрения относительно каждого из них и по поводу классификации керамики по их результатам. Сборник, вышедший в г. Нью-Йорке [143], включает обширный материал о применении и употреблении аналитических методов в археологии и содержит сведения о различных методах

исследования археологического материала и конкретном применении их.

В. Янг и Ф. Уитмор [144] применили рентгенофлуоресцентный метод в изучении китайской и японской керамики и по результатам анализов определили место производства различных изделий. Б.Б. Лал [135] применил химический анализ при изучении химического состава селадоновых изделий, с помощью которого определены некоторые характерные черты производства данного вида изделий. И. Бернхард [131] и М. Тайт [142] в своих работах подробно рассмотрели использование рентгенофлуоресцентного анализа в археологии. Л. Мэритэн [136] использовал петрографию в исследовании древней керамики. Л. Кампанелла и его соавторы исследовали древнюю ливийскую керамику методами термогравиметрии и термомеханического анализа [133].

В то же время исследование кыргызских керамических изделий комплексным подходом исследования современными методами систематически не проводилось, что не позволяло получить «техническую» характеристику керамических центров и реконструировать процесс возникновения и развития на территории республики древнего и средневекового керамических производств, связанных с изготовлением гончарной продукции.

Выводы по главе 1

Как видно из анализа литературы по истории керамического производства на территории древнего Кыргызстана, мало внимания уделялось роли научно-технического развития в становлении соответствующей отрасли и влиянию ее производства на развитие смежных областей технических исследований.

В связи с этим нет возможности проследить историю развития керамического производства Кыргызстана на фоне исторического развития, прежде всего потому, что слабо изучены технологические особенности керамических изделий разных областей и разных исторических периодов

разнообразными современными методами исследования.

А между тем, именно исследование, основанное на конкретном анализе материала современными методами, сопоставление данных исследования физико-химических и физико-механических свойств керамического материала различных центров позволит составить историческую схему развития кыргызского керамического производства.

Комплексное исследование позволяет расширить знания о древнем и средневековом керамическом производстве на территории Кыргызстана и дает возможность по-новому взглянуть на керамические центры, большинство которых выявлено лишь на базе историко-археологических исследований.

ГЛАВА 2

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД, ИСТОЧНИКИ И МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Керамическое производство на протяжении длительного времени составляло основу экономической жизни целого ряда народов, которые проживали на территории современного Кыргызстана, оно развивалось сложным путем, переживало периоды подъемов, значительных изменений, определяющих рубежи и этапы в истории развития этого вида человеческой деятельности. Особенности развития керамического производства, его характер, технология обусловлены в каждый исторический период потребностями общества, общим уровнем всего производства, характером распределения.

Изучение характера развития выработки керамической продукции как историко-производственного явления происходит на основе анализа особенностей изменения его технической организации. Уровень последней определяется, прежде всего, степенью развитости технических средств и разработки всей технологии, которые раскрываются и проявляются в свою очередь в характере организации технологического производственного процесса.

В контексте работы, направленной на исследование способов изготовления керамических изделий в обозначенный период времени и на обозначенной территории, под технологией будем понимать, с одной стороны, формы и способы их изготовления, с другой, научное описание процессов изготовления и возможных способов их реконструкции. Отсутствие обоснованных знаний о технологии производства керамических изделий препятствует получению важной информации об истории Кыргызстана как государственного образования, его культуры и экономики.

Состояние и особенности разработки и изготовления керамических изделий того или иного периода, позволяющие выделить этапы в его развитии, определяются, прежде всего, уровнем технологии производства и изменениями в

его характере, которые раскрываются и проявляются при исторической реконструкции техники и технологии керамического производства, что предполагает проведение исследования современными естественно-научными методами.

Основным объектом исследования является керамическое производство на территории современного Кыргызстана в период со II тысячелетия до н.э. до XVI в.н.э.

Предметом исследования стали образцы керамических производств двенадцати керамических центров эпохи бронзы, раннего и развитого средневековья, которые служат основой в реконструкции технологии керамических производств и являются отражением древних традиций керамистов. Керамические образцы были предоставлены профессором Кыргызско-Турецкого Университета «Манас» Табалдиевым К.Ш. и сотрудниками музея Кыргызско-Российского Славянского Университета им. Ельцина.

2.1. Характеристики керамических центров

Источниковая база исследования основана на вещественных источниках – керамических артефактах с производственных центров Кочкорского и Сузакского районов, Чуйской, Иссык-Кульской и Таласской долин, которые расположены вдоль трасс Великого Шелкового пути, а также научных трудах и отчетах археологических экспедиций по керамике и керамическому производству республики.

Великий Шелковый путь (рис. 1.1) пролегал по территории современного Кыргызстана, где издревле пересекались основные пути торговых караванов, которые соединяли Дальний Восток и Византию, Рим и Арабский халифат. Северная ветвь Великого Шелкового пути пролежала через Таласскую, Чуйскую и Иссык-Кульскую долины, где с запада на восток тянулось множество городов, такие как Садыр-Курган, Бурана, Красная речка, Суяб, Тон, Тосор, Курменты и т.д., руины которых можно увидеть сегодня.

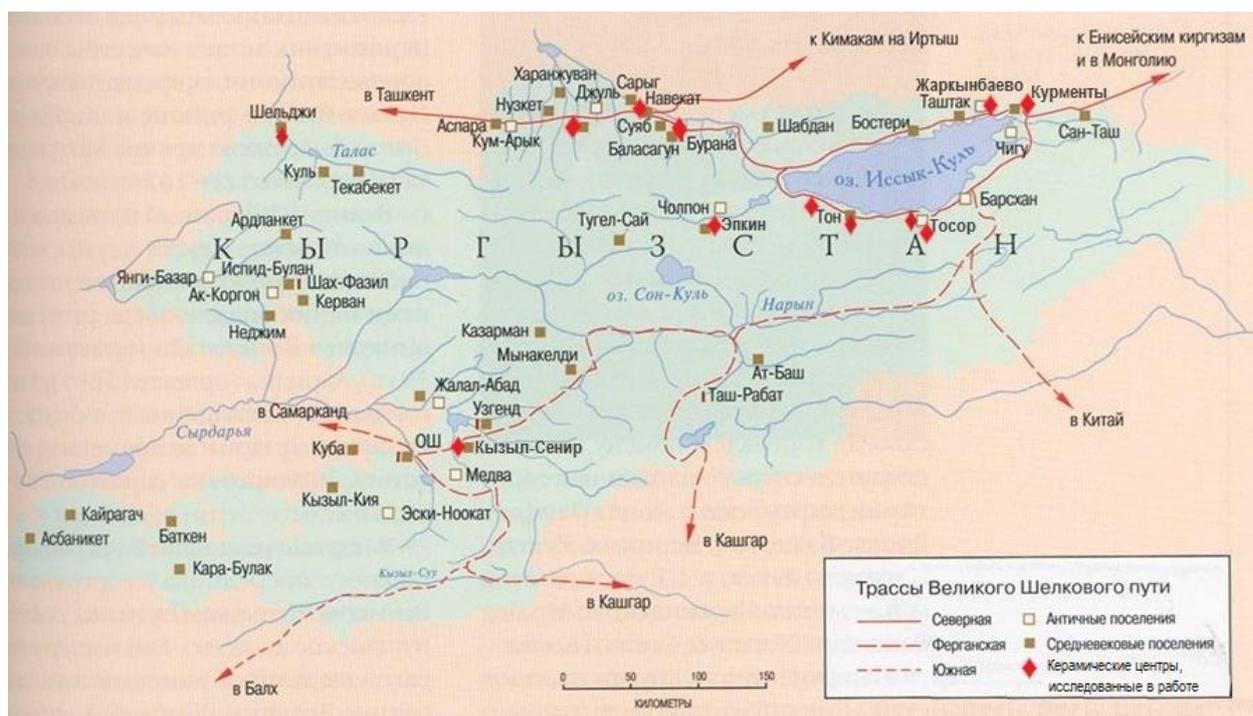


Рисунок 1.1 - Карта трассы Шелкового пути по территории Кыргызстана

Все представленные образцы представляют собой небольшие гончарные обломки, неправильных очертаний. В процессе визуального осмотра керамических фрагментов было выявлено, что взятые для анализа керамические образцы в изломе имеют различную структуру и цвет. Так, образцы №13 и 16, покрытые глазурью, происходят с площади средневекового городища Шельджи или Садыр-Курган, которое расположено в долине р. Талас. Город функционировал в качестве торгового, керамического и металлургического производственного центра в течение раннего и развитого Средневековья, с VIII по XV вв. [57, с. 281]. Исследовано такими учеными, как М.Е. Массон [72], А.Н. Бернштам [15], М.А. Бубнова [22], В.В. Бартольд [8]. В настоящее время данное городище затоплено водами Кировского водохранилища, расположенного в ущелье Чон-Капка.

В Чуйской долине расположены руины Буранинского, Краснореченского и Кокжарского городищ и т.д., которые были крупными торговыми и культурными центрами. Городища Красная речка и Бурана включены в Список всемирного наследия ЮНЕСКО [132, с. 113]. Изучением городищ Чуйской долины занимались такие ученые, как А.И. Тереножкин [127], А.Н. Бернштам [16, 17], М.Е. Массон и Г.А. Горячева [74], П.Н. Кожемяко [61, 62].

Образцы № 6, 17 и 18 происходят со средневекового городища Баласагун или Бурана. Образцы №17 и 18 покрыты глазурью. Согласно исследованиям историков и археологов, город Баласагун был столицей каганата Караханидов и имел современные коммуникации: дороги, водопроводы, социальные структуры. Город лежал на пересечении дорог и поэтому на протяжении длительного исторического периода с VI по XVI вв. функционировал в качестве важного торгового и ремесленного центра. В настоящее время на площади данного памятника расположен краеведческий музей Башня Бурана.

Одним из крупных торговых и культурных центров Чуйской долины является Краснореченское городище, с которого происходят образцы №5 и 15. Здесь с VI по XII вв. функционировал город Навекат (Новый город) древнетюркских каганатов, где при археологических раскопках были обнаружены мастерские, монеты, домашняя утварь, древние письма, остаточные признаки водопровода и очистительных колодцев. Также были выявлены фрагменты буддийской живописи и скульптуры, часть огромной глиняной статуи Будды, которая хранится в Эрмитаже в Санкт-Петербурге.

Еще один фрагмент керамики Чуйской долины (образец №12), привлеченный для анализа, происходит с городища, обнаруженного у села Кок-Жар, которое функционировало в течение средневекового периода в X-XII вв.

Иссык-Кульская долина имеет многочисленные памятники древней истории. На побережье озера Иссык-Куль обнаружены руины более 100 древних поселений, находящихся на суше, и более десятка затопленных, которые датированы различными эпохами. Обилие городищ и курганов свидетельствует о высокоразвитых производствах прошлого, где одним из основных являлось керамическое производство. Высокое качество керамических изделий Иссык-Куля явилось результатом мастерства, богатого опыта, знаний ремесленников и экономических возможностей. Об этом свидетельствуют не только высокие декоративные и технические качества изделий, но и данные об ассортименте сосудов. Памятники Иссык-Кульской долины были исследованы такими учеными, как В.В. Бартольд [8], Д.Ф. Винник [27, 28], Л.Р. Кызласов [67],

В.М. Плоских и В.П. Мокрынин [76], В.В. Плоских и В.М. Плоских [103], К.Ш. Табалдиев [124], Н. Лукашов, С. Лукашова [69, 70].

На южном побережье Иссык-Куля пересекались две ветви Великого Шелкового пути, от которых ответвлялись торговые пути местного значения (рис. 1.1). Поэтому южное побережье Иссык-Куля наиболее насыщено древностями. На относительно небольшой территории сосредоточены разновременные памятники, свидетельствующие об интенсивном освоении южного побережья в далеком прошлом.

Образцы №1 и 3 происходят со стоянки Тосор, которая находится на правом берегу р. Тосор, протекающей вдоль южного побережья озера Иссык-Куль. На стоянке Тосор археологами найдено огромное количество каменных артефактов, которые свидетельствуют о проживании на этой местности людей со времен палеолита. Более частыми находками были части различного оружия, керамики, что говорит о нахождении на этом месте своеобразных мастерских.

Образец №2 происходит из могильника Уч-Курбу, который расположен также в долине р. Тосор и раскопан в 2008-2009 гг. Согласно археологическим материалам, которые датируются III-II вв. до н.э. и н.э., население наиболее эффективно освоило производство оружия и керамики.

Одним из крупнейших городищ южного побережья озера Иссык-Куль является городище Кан-Добо или Туура-Суу, восходящее к VI-XII вв., с которого происходит образец №7. Городище имело сложную планировку. Здесь, при археологических раскопках, были обнаружены глиняная посуда, вазы с надписями, обломки изделий из железа, монеты, украшения, зернотерки и т.д., а также разветвленная водопроводная система и катакомбы, которые были созданы благодаря умениям древних жителей. Сеть подземных лабиринтов, своды которых облицованы сырцовыми кирпичами, при необходимости становились неприступным убежищем. Кладка лабиринтов осуществлена согласно нынешним требованиям строительного дела.

Еще один фрагмент керамического изделия южного побережья озера Иссык-Куль (образец №8), привлеченный для анализа, происходит с поселения Кайнар, которое функционировало в течение средневекового периода в X-XII вв.

Образец №14 происходит с курганов, расположенных у села Курменты на северном побережье озера Иссык-Куль. Сохранилось 24 кургана с каменно-земляными насыпями, прямоугольными оградками из камней. У подножия отдельных курганов кольцевые выкладки из камней. Могильники датированы сакским, усуньским и тюркским временами. Степные «пирамиды» Курменты и сейчас вызывают удивление своими размерами. У села Курменты обнаружены также катакомбы, которые сегодня представляют собой едва проходимый лаз, по мере продвижения расширяющийся и заканчивающийся выходами в разные комнаты, расположенные по принципу монашеских келий. И таких внутренних проходов насчитывается свыше тридцати.

С северного побережья озера Иссык-Куль происходит еще один фрагмент керамического изделия (образец №2), обнаруженный на глубине 5-6 м в заливе около с. Жаркымбаево. Помимо керамических изделий было обнаружено большое количество бронзовых изделий. Находки позволили ученым выдвинуть гипотезу о некогда существовавшем здесь важном металлургическом центре сакского периода, который ушел под воду, и о местном производстве глиняных изделий.

Образец №11, покрытый глазурью, образец №10 без глазури происходят с керамического центра у с. Эпкин, расположенного в Кочкорском районе на Тянь-Шане, который функционировал в течение средневекового периода в X-XII вв. Это поселение было исследовано К.Ш. Табалдыевым [125].

Южная ветвь Великого Шелкового пути пролегла через: города Ош, Узген, долины Арпа и Ат-Баши, далее город Барсхан, расположенный на южном берегу Иссык-Куля. Вдоль всего пути следования расположены многочисленные городища, архитектурные ансамбли и комплексы гражданского и культового зодчества, караван-сарай. Южный регион Кыргызской Республики изучен историками искусства и архитектуры: Б.Н. Засыпкиным [54, 55], Б.П. Денике [41], В.Е. Нусовым [86]; археологами: М.Е. Массоном [71, 73], А.Н. Бернштамом [12, 13], В.Д. Горячевой [34, 35], К.Ш. Табалдыевым [124]; историками В.Я. Галицким и В.М. Плоских [30], А.К. Абетековым [1]; нумизматами: В.Н. Настич [84, 85] и Ю.А. Заднепровским [51, 52].

Образец №9 происходит с керамического центра у гор. Кызыл-Сенир, расположенного между городищами Ош и Узгент на южной ветви Великого Шелкового пути. Городище функционировало в течение средневекового периода.

По результатам анализа древних и средневековых керамических центров Кыргызстана составлена информационная база данных (табл. 1.1), которая позволяет:

- определить этапы развития древних и средневековых керамических производств;
- датировать исследуемые керамические изделия;
- определить степень изученности.

Таблица 2.1 - Информационная база данных древних и средневековых керамических центров Кыргызстана

Наименование	Расположение	Датирование	№ образца	Изученность
г. Садыр-Курган (Шельджи)	Таласская долина	VIII–XV вв.	№13, 16	М.Е. Массон, А.Н. Бернштам, М.А. Бубнова, В.В. Бартольд
Бурана (Баласагун)	Чуйская долина	VI–XVI вв.	№ 6, 17, 18	А.И. Тереножкин, А.Н. Бернштам, М.Е. Массон, Г.А. Горячева, П.Н. Кожемяко
Краснореченское городище (Навекат)		VI–XII вв.	№5, 15	
с. Кок-Жар		X–XII вв.	№12	
с. Тосор	Иссык-Кульская долина	III–II тыс. до н.э.	№1, 3	В.В. Бартольд, Д.Ф. Винник, Л.Р. Кызласов, В.В. Плоских, С. Лукашова, В.М. Плоских, К.Ш. Табалдиев, Н. Лукашов, В.П. Мокрынин, М.Б. Юнусалиев
с. Уч-Курбу		III–II вв. до н.э и н.э.	№2	
городище Кан-Добо (Туура-Суу)		VI–XII вв.	№7	
поселение Кайнар		X–XII вв.	№8	
с. Курменты		X–XIII вв.	№14	
с. Жаркымбаево		I–III вв.	№2	
с. Эпкин	Кочкорская долина	X–XII вв.	№11	К.Ш. Табалдиев, Ю.С. Худяков
городище Кызыл-Сенир	Ферганская долина	IX–XII вв.	№9	Б.Н. Засыпкин, М.Е. Массон, А.Н. Бернштам, В.Д. Горячева, К.Ш. Табалдыев, Ю.А. Заднепровский

2.2. Технологический процесс изготовления керамических изделий

Раннее возникновение государственности, наличие богатых природных ресурсов Кыргызской Республики способствовали зарождению и развитию многих производств, в том числе и керамического, которое неразрывно связано с изучением технологии изготовления керамических изделий.

Вначале керамические изделия изготавливались на корзиночной основе, т.к. плетеные изделия предшествовали глиняным, и процесс изготовления представлял собой размешивание глины, формование изделия, сушку и обжиг. К средневековью количество этапов технологии изготовления керамических изделий увеличилось, добавились: ангобирование, лощение, орнаментация [95, с. 176]. И на каждом этапе технологического процесса древние керамисты обладали различными приемами технологии и состава материала производства.

Размешивание глинистой массы. Изучение техники простейшего производства керамических изделий и наблюдения этнографов показывают, что на раннем этапе обходились без длительной предварительной подготовки глиняной массы. Первые сосуды лепились из той глины, которая находилась вблизи жилья, без добавления отощителя. Позднее подготовка формовочной массы включала следующие операции: разбивание и растирание комков глины, замешивание ее на воде с применением отощителя, если таковой имелся. Со временем для улучшения качества массы стали увеличивать число операций. В наше время технологический процесс подготовки глины состоит из вымораживания, выветривания, разделки, сушки, размочки, размола, растирки, просева, отмучивания и замешивания отощителя [2, с. 133]. Трудно проследить, как постепенно, в процессе исторического развития, наращивался комплекс операций.

Кыргызские мастера перед формовкой удаляли из глины инородные предметы, затем ногами размешивали глину до однородной консистенции. А после

добавляли отошитель (песок, кварц, шамот, шерсть, навоз, конский волос) для благоприятной усадки сосудов во время их сушки и обжига.

Формование. На заре гончарного производства сосуды формовались от руки. Согласно литературным и этнографическим источникам, выявлены следующие способы формовки, которые могли использовать древние кыргызы:

1. *Выдавливание из кома* влажной глины необходимой формы [3, с. 46]. Таким способом трудно было придать равномерную толщину стенкам сосуда.
2. *Спиралевидное наращивание* или наращивание замкнутыми глиняными лентообразными кольцами. Это позволяло придать изделиям более совершенную форму и размеры [4, с. 185].
3. *Лепка с помощью болванок* была широко распространена в Фергане [23, с. 52]. Болванку изготавливали из вязаного или сшитого мешочка, заполняли песком [64, с. 447], наносили глину необходимым слоем, выравнивали и выглаживали инструментом. После того как изделие подсыхало, высыпали содержимое мешочка и извлекали его. Этот способ имел значительные преимущества: он обеспечивал большую производительность, давал возможность без лишних предосторожностей изготавливать различные формы сосудов со сложным профилем, начинать лепку как снизу, так и сверху.
4. *Гончарный круг* имеет свою историю [4, с. 185]. Опираясь на факты из этнографии, можно говорить, что первоначально под формируемый сосуд подкладывался плоский предмет, на котором изделие поворачивалось, чтобы придать ему круглые очертания и равномерную отделку. Такая подкладка не позволяла влажной глине прилипать к земле. Новым шагом было устройство простейшего поворотного круга, вращающегося на еще короткой оси, которая устанавливалась на каменном подпятнике. Скорость вращения данного круга, приводимого в движение рукой, очень невелика. Но эта простейшая конструкция обеспечивала возможность придавать изделию правильные очертания, наносить орнамент, производить несложную отделку поверхности. Конструктивная простота такого круга позволила ему дожить до наших дней.

Следующей важной ступенью в развитии гончарного круга было присоединение махового колеса, сообщающего кругу скорость и силу вращения. Производительность труда при этом повышалась в результате увеличения угловой скорости, непрерывности движения и освобождения второй руки от вращательных функций. Важно отметить, что изобретение ручного гончарного круга не вытеснило полностью формовку от руки, а изобретение ножного гончарного круга не выжило ручной круг.

5. *Специальные орнаментированные калыпы (штампы)* для изготовления керамических изделий требовали особых технологических приемов, что подтверждалось исследованиями средневековых изделий XI-XII вв. [5, с. 46]. Требуется глина хорошей пластичности, умение подогнать части и сформовать сосуд, определенное время на сушку и последовательное соединение частей. Между тем, древние мастера умели получать прекрасные формы изделий и гораздо быстрее, чем изготавливаемые на кругу. Они располагали большим набором обычных штампов-печатей. Изготавливались калыпы (штампы) специальными мастерами, выполнявшие их по заказу мастеров-гончаров.

Различные приемы формовки изделий сосуществовали не только в разных местах и в одном и том же периоде, но и рядом, в одном и том же районе, часто в одном и том же керамическом пункте. Сосуществование разных видов формовки известно с глубокой древности. Например, в раннесредневековых поселениях Чуйской долины, наряду с изделиями, сделанными на кругу, отмечены довольно разнообразные лепные сосуды [3, с. 47].

После формования поверхность сосуда сглаживали мокрыми руками, костью или войлоком. Введение такого приема улучшало внешнюю поверхность, а также уменьшало водопоглощение, так как мелкие частицы глинистой массы закрывали поровые каналы.

Ангобирование. Ангоб возник как своеобразный прием обмазки [45, с. 124] и предусматривал создание особой поверхности сосуда. Ангоб изготавливался из замешанной на воде тонкоотмученной, светлой глины и наносился на изделие перед

сушкой. Для изменения окраски водного раствора древние гончары добавляли корни растений (ышкын, ала бата и др.) [91, с. 76]. Назначения ангоба:

- изменения цвета изделия во время обжига;
- уменьшение влагопроницаемости внешней поверхности изделий;
- придание дополнительной гладкости внешнему виду изделий;
- образование грунта под роспись.

Особенностью обжига ангобной массы является то, что тонкий слой ангоба подвержен более быстрому спеканию, чем масса черепка. В результате образуется слой, обладающий намного меньшим водопоглощением, чем черепок изделия, обожженного на эту же температуру. В результате стенки изделия становятся менее влагопроницаемыми.

Сушка и лощение. Сушка до обжига предназначалась для предотвращения трещин при обжиге. Скорость сушки сосудов определяется способностью воздуха поглощать водяные пары, что в свою очередь зависит от температуры, влажности воздуха и его циркуляции. Такая опасность возникает из-за того, что при обжиге скорость высыхания поверхностного слоя опережает скорость высыхания внутреннего. Исходя из этого, сушить сосуды нельзя ни на ветру, ни на солнце, ни в закрытом помещении, лишенном притока воздуха. Древние кыргызы для сушки приспособили юрту без циновок. Посуду расставляли на полу. Для необходимого проветривания снизу приподнимались туурдуки [91, с. 76]. Длительность сушки определялась пластичностью глины.

Процесс лощения в момент, когда глинистое сырье почти высохло, предназначен для изменения цвета поверхности, а также для водонепроницаемости керамических изделий. Инструментами служили галька или кость [5, с. 82]. После процесса лощения получается лоск, который зависит от характера глинистого сырья: большой блеск дает хорошо отмученный или жирный глинистый материал, чем грубый, тощий или известковый.

Обжиг используется, чтобы преобразовать глинистую массу в твердое изделие, на которое не влияет вода. Этот процесс протекает при 500-600°C [95, с. 177]. При повышении температуры выше 500°C глинистая масса быстро

освобождается от связанной воды, которая составляет 13-14% вещества [2, с. 134]. В результате получается керамический черепок.

Технология обжига прошла длительный и сложный путь. Вначале изделия обжигались в один этап на костре [132, с. 116]. К средневековью этот процесс осуществлялся в несколько этапов, который дошел до наших дней. Современные мастера различают три основных периода обжига. Первый период – чок (окур), при котором происходит выделение влаги (до 150⁰С). Окур нужно вести очень осторожно, при открытых дверях, чтобы пары влаги не оседали на изделиях. Второй период – орто жалын (средний огонь), при котором из массы изделия удаляется химически связанная вода, и сгорают все органические вещества (600⁰С). В этот период топку постепенно усиливают, увеличивая количество загружаемого топлива. Третий период – катуу жалын (взвар), когда изделия приобретают цвет темно-красного каления (до 1200⁰С). Дверцы печи держат закрытыми и нагоняют температуру, усиливая топку, регулируют так, чтобы по всей камере был равномерный огонь. Температуру обжига мастера определяли на глаз по цвету каления обжигаемых предметов и самого пламени [95, с. 178].

В процессе обжига иногда появляются трещины. Причин возникновения трещин несколько. Одна из них – резкое повышение температуры, означающее, что окур ведется неправильно. Трещины в таких случаях образуются в виде тонкой паутинки или крупных рваных разломов. Другая – внезапное понижение температуры, когда обожженные сосуды вынимаются из печи слишком рано. От холодного воздуха сосуд трескается, и на стенках возникают нитеобразные трещинки. В обоих случаях важнейшее условие обжига – постепенное прогревание, прокаливание сосудов, которое со временем освоил керамист.

Декоративные покрытия. Древние керамические изделия украшали не только ангобированием, лощением, но и зачерняли дымом, а также наносили разнообразные орнаменты или росписи.

Зачернение дымом на первых порах получалось случайно при коптящем пламени. Из опыта керамисты пришли к выводу, что хороший обжиг не получается при коптящем пламени. А чтобы получить качественные керамические изделия

черного цвета, необходимо их обжигать при максимальном огне, а после коптить при густом дыме, который получали с помощью опилок, рубленой соломы, навоза или мякины. Так как в пористой структуре древних керамических изделий по мере их охлаждения происходит сжатие воздуха, которое при соприкосновении с дымом содействует проникновению его частиц внутрь черепка.

Нанесение орнамента на еще сырую поверхность сосудов совершалось по-разному: накалыванием, нарезанием, царапанием, тиснением, прищипыванием, налепливанием. Щипковой и налепной орнаментацией целесообразнее было украшать сосуды сразу же после формовки, пока глина еще сохраняла достаточную влажность. В этот период работы приращивались ручки и другие налепные детали. Тиснение, накалывание и нарезка, спустя 1-2 часа после выглаживания, показывали лучшие результаты для тонкостенных сосудов, для толстостенных – через 1 день. Выцарапывание рисунка производилось по сухому и даже лощеному сосуду. В основном вырезался геометрический орнамент, а углубленные линии заполнялись белой краской. Орнамент наносился с помощью птичьих косточек, перьев, щепок, шпилек, ножей, гребенок. Штампы для орнаментации сосудов изготавливались из различных материалов. Несколько затрудняли нанесение глубокого тиснения мелкие комочки глины, которые в процессе работы выдавливались из стенок сосудов с помощью различных инструментов. Изделия чаще всего орнаментировались тут же, на гончарном круге, образуя круговой рисунок.

Можно без преувеличения сказать, что орнаментирование является одним из самых увлекательных процессов в керамическом производстве. Сначала это был примитивный узор. Со временем переросло в живописную культуру. Техника и сюжеты орнаментов происходят из звериного орнамента, некоторые элементы которого постепенно теряли свой сюжетный первоначальный смысл, превращаясь в растительные завитки. Характерно, что в современной орнаментике кыргызов сохранился и продолжает развиваться животный мотив глубокой древности. Таким образом, изучение древних и средневековых керамических изделий проливает яркий свет не только на развитие древней технологии, но также указывает на развитие орнаментации рисунка.

Гончарные печи. Установлено, что на раннем этапе производства, обжиг высушенных изделий производился на земле в куче топлива, которую покрывали навозом с целью сохранения тепла [100, с. 73]. В качестве топлива использовали навоз, солому, камыш. Со временем кучу стали окружать стенкой, изготовленной из глины. Таким образом были созданы простейшие гончарные печи, имеющие перегородку между изделиями и топливом. В дальнейшем конструкции печей совершенствовались. Остатки гончарных печей были обнаружены по всей территории древних кыргызов: в Чуйской (Александровское и Краснореченское городища), Таласской (Кетмен-Тобо) и Ферганской (Узген) долинах [87, с. 70].

Печи строились на основе четко разработанных технических принципов. Но их конструкции и формы были разными как для разных областей, так и для одной области. С древних времен мастера работали над развитием технических свойств печей, важной деталью которых являются размеры и взаимосвязь двух камер – обжигательной и топочной. Дальнейшие поиски улучшения рабочих качеств печей и техники обжига шли по линии усиления теплоизоляции камер, более экономичного использования объема, получения ровного и достаточно сильного теплового потока. При этом большое значение имели количество и размеры продухов и центрального большого отверстия, которым уделяется большое внимание и при устройстве современных печей этого типа. “При правильном выборе соответствующих размеров подовых отверстий легко добиться правильного и притом полного заполнения рабочей камеры топочными газами и минимального расхода тепла” [44, с. 69]. Это хорошо знали древние керамисты. Часто в зависимости от характера обжига и необходимой температуры продухи перекрывались в той или иной степени специальными крышками или просто обломками кирпичей или керамики, так же, как это делается в современных камерных печах. Все это свидетельствует о продуманном регулировании температуры [95, с. 178].

Размеры печи зависели от многих причин: от достатка мастера, назначения печи и характера обжигаемых изделий. Например, для обжига дорогой посуды употреблялись печи меньших размеров, в них легче регулировать обжиг; но печь

должна быть достаточно вместительной, чтобы в ней могло обжигаться нужное количество изделий.

Обжигу высушенных изделий предшествовал сложный процесс расстановки гончарных изделий в печи. Насколько серьезно древние мастера занимались этим делом, свидетельствуют находки разнообразного печного инвентаря – глиняные подставки, треноги. На многих средневековых глазурованных изделиях сохранялись следы треног в виде отпечатков или налепов. Другим часто встречающимся предметом печного инвентаря является глиняный казык (штырь). Они представляют собой округлые колья с закругленной, суженной на конце верхушкой. Посуда на них навешивалась при помощи специальных глиняных коромыслец, полочек, что свидетельствует о высоком мастерстве древних керамистов.

2.3. Методы комплексного исследования

В работе использовались следующие общенаучные и специальные методы исследования: нарративный, историко-генетический, сравнительный, источниковедческий. Разработан следующий подход к исследованию древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана, в основе которого лежат следующие принципы:

- для получения необходимой информации об исследуемом изделии необходимо использовать комплексный метод;
- комплексный подход исследования должен включать рациональные взаимодополняемые методы;
- полученные результаты должны соответствовать поставленным задачам.

Для получения максимального количества данных по качественной характеристике образцов в работе применены следующие методы:

- рентгенофлуоресцентный анализ;
- рентгенофазовый анализ;

- оптическая микроскопия;
- технические испытания на твердость по Роквеллу;
- метод гидростатического взвешивания;
- растровая электронная микроскопия.

Методика проведения и интерпретация результатов комплексного исследования образцов керамических изделий Кыргызстана рассматриваемого периода позволит получить необходимую системную информацию об их физико-химических и физико-механических свойствах, установить источники сырьевой базы, определить динамику температурного режима обжига и провести классификацию качественных характеристик керамических изделий.

Рентгенофлуоресцентный анализ. Химический анализ позволяет определить как химический и минералогический составы, так и некоторые технологические свойства глин. Изучение химического состава древних керамических изделий важно потому, что оно тесно связано с другими разделами науки, прикладного искусства и историей материальной культуры народов Кыргызстана. Для определения химического состава керамических изделий используют различные методы: химический количественный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ с волновой дисперсией, нейронно-активационный анализ и другие [99, с. 871]. Наиболее широкое применение получили химический количественный анализ и рентгенофлуоресцентный анализ с волновой дисперсией [131, с. 65, 142, с. 125].

Сущность химического количественного анализа заключается в изучении состава керамических изделий путем разложения пробы с помощью химических реагентов. Основной недостаток метода – значительная трудоемкость определения химического состава [94, с. 102].

Сущность рентгенофлуоресцентного анализа с волновой дисперсией (ВД-РФА) заключается в том, что флуоресцентное излучение от образца проходит сквозь коллиматор и попадает на так называемый кристалл-анализатор, на котором происходит дифракция в соответствии с законом Вульфа-Брэггов. В результате лучи отклоняются на угол, зависящий от длины волны излучения

(однозначно связанной с энергией рентгеновских квантов). Такая угловая дисперсия позволяет последовательно или же одновременно зарегистрировать рентгеновские лучи, испускаемые тем или иным элементом образца. Параллельные схемы, предназначенные для регистрации одновременно нескольких длин волн, содержат несколько наборов кристаллов-анализаторов и детекторов; последовательная схема состоит из одного кристалла-анализатора и, соответственно, одного детектора, положение которых относительно образца можно менять в определенных пределах, настраивая на определенный элемент. Такие приборы, как правило, чрезвычайно дороги, но эффективны для рутинного определения заранее выбранных элементов или для научных исследований.

ВД-РФА незаменим также, когда требуется быстрый и в то же время точный анализ элементов. Преимущества, благодаря которым метод стал так популярен, заключаются в простоте использования и надежности оборудования, позволяющие добиться качественных результатов. К тому же метод позволяет свести к минимуму подготовку образца к анализу и избежать проблем, обычно связанных с разложением пробы и подготовкой химических реагентов к замеру.

При исследовании керамических артефактов Кыргызстана рентгенофлуоресцентным методом, позволяющим более детально обработать материал, решаются такие вопросы, как исследование технологических процессов, которые связаны с изготовлением керамических изделий, установление уровня и технологических возможностей кыргызских мастеров. Полученные результаты позволяют всесторонне исследовать керамическое производство в его историческом развитии, более точно представить его свойства для определенного исторического периода, а также передать особенности и общие признаки производства в разных регионах Кыргызстана.

Определение химического состава выполнялось на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном анализаторе элементов EDXRF ARL Quant'X производства Thermo Scientific с методикой UniQuant в ОсОО «Информационно-исследовательский центр» (г. Кара-Балта) [94, с. 102].

Рентгенофазовый анализ. Элементный состав керамических изделий можно исследовать с помощью разнообразных аналитических методов, которые чаще всего предполагают разрушение вещества. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводится без разрушения образца. Кроме того, метод оценивает количество фаз в смеси. Также к достоинствам РФА можно отнести высокую достоверность и экспрессность. Основой метода является не косвенное сравнение с теми или другими эталонами, а определение непосредственно кристаллической структуры вещества, которая составляет наилучшую характеристику каждой фазы. Для этого метода не требуется большого количества вещества.

Согласно взаимному расположению атомов и молекул материалы делятся на кристаллические и аморфные. Существенным различием кристаллических и аморфных веществ является то, что при постоянном давлении кристаллические вещества при определенной температуре плавятся, а аморфные вещества при нагревании вначале имеют размягченное, а затем жидкое состояние, вследствие чего у аморфных веществ прочность ниже, чем у кристаллических веществ. Различные строения аморфных и кристаллических веществ обуславливают различия в их свойствах.

Кристаллические фазы определяются рентгенофазовым анализом, с помощью которого строится индивидуальная рентгенограмма для каждого кристаллического соединения, характеризующаяся величинами рефлексов межплоскостных расстояний d/n и относительной интенсивностью отражений I . Известно, что нет двух кристаллических веществ, обладающих почти одинаковой кристаллической структурой, поэтому рентгенограммы характеризуют только данное вещество и никакое другое. Рентгенограмма смеси состоит из суммы отдельных рентгенограмм вещества, то есть как бы на одну пленку наложена рентгенограмма каждой из них.

Назначение качественного рентгенофазового анализа материалов состоит в сопоставлении значений d/n и I с эталонными рентгенограммами. Сведения эталонных рентгенограмм представлены в виде таблиц значений d/n и I в справочниках или картотеках [31, 33].

Для идентификации фаз вначале необходимо определить самую сильную линию рентгенограммы, затем, по совпадению межплоскостного расстояния, выявить ее принадлежность к какой-либо определенной фазе. Далее путем сравнения с табличными данными определить принадлежность других линий рентгенограммы к этой фазе. Считается, что фаза идентифицирована верно, если совпадают межплоскостные расстояния и соотношения интенсивностей для исследуемой и табличной рентгенограмм пропорциональны. Аналогично поступают с остальными линиями рентгенограммы.

Согласно Международному союзу кристаллографов, две линии соответствуют, если разница их значений d/n составляет не более чем 0,03 ангстрема. Процесс фазового анализа считается завершенным, если остаются не сопоставленными не более 2-3 линии.

Испытания проведены на рентгеновском аппарате ДРОН-1,5 ГОСТ 15534-70 в Кыргызско-Российском Славянском Университете им. Б. Ельцина, в учебно-научной лаборатории физики твердого тела.

Микроскопический анализ. Раскрытие технологии древнего керамического производства является одной из важнейших исследуемых проблем. С помощью микроскопического исследования керамических изделий могут быть решены ряд вопросов, например, установление минералогического состава керамического теста, структуры глины и естественных и искусственных примесей, температуры обжига. Визуальное исследование изломов черепка неточно и может привести к серьезным ошибкам.

При изучении керамических изделий микроскопическими методами также решаются такие вопросы, как классификация по их составу, определение центров керамического производства и установление некоторых сторон технологии керамических изделий. При исследовании керамических артефактов чисто археологическими методами часто дается их субъективное описание. Микроскопические исследования дают важный материал для сопоставления и проверки данных, полученных археологами. Основная задача микроскопического изучения керамических изделий заключается в описании и идентификации их

качественного и количественного состава, который определяется по оптическим константам, характерным для определенного кристаллического вещества. По соотношению и расположению минералов устанавливается его микроскопическая структура. Трудность микроскопического исследования древних керамических изделий заключается в большом разнообразии технологии их производства на различных стадиях формирования общества.

Микроскопический анализ образцов проведен в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Кыргызского Государственного Технического университета им. И. Раззакова с помощью универсального микроскопа Axio Imager A1m/M1m под увеличением в 100 раз. При исследовании установлены состав и структура керамических изделий, их содержание, размер, форма и ориентировка зерен, минеральный состав. Одновременно проведены микроскопические исследования глазурей.

Растровая электронная микроскопия. Свойства керамических изделий определяются не только минеральным составом, но и их микроструктурой, которая определяется размерами и формами частиц и микроагрегатов глины, а также взаимной их ориентацией и видами структурных связей [98, с. 104]. Микроструктура отображает воздействие разнообразных физико-химических факторов на процессы образования структуры. Следовательно, микроструктура – это своего рода “фотография” условий, в которых была сформирована данная глинистая порода. В ней заложены данные о деформации и прочности породы, о характере возможного изменения под воздействием тех или иных обстоятельств, благодаря сочетанию разных энергетических, морфометрических и геометрических признаков.

Для анализа глиняного теста, из которого изготовлены керамические изделия, наиболее важно рассмотреть такие признаки, как размеры (объем) пор и их физическое состояние, которые в комплексе с гранулометрическим составом, текстурными особенностями могут дать информацию о качестве сырья, способах его обработки. Изначально присутствующие в глине закрытые поры содержат пузырьки воздуха, которые стоит воспринимать как вид естественного отощителя.

Следовательно, замкнутую пористость отображают, как правило, тощие глины [53, с. 131]. В тоже время, появление в гидрослюдах замкнутой пористости может быть связано с температурой обжига. Так, замкнутая пористость появляется в глинах, которые содержат биотит, при температуре свыше 570°C , в глинах, которые содержат мусковит, – свыше 830°C [142, с. 73].

На дисперсность глиняного теста указывают также метрические параметры пор, которые характеризуют такую естественную обработку, как вымораживание и вылеживание: ультрамикропоры (до $0,1\ \mu\text{м}$), микропоры ($0,1-100\ \mu\text{м}$), макропоры (более $100\ \mu\text{м}$). Так, необработанная глина изначально представляет тело с большим количеством макропор.

В тоже время объемные параметры пор характеризуют искусственную механическую обработку глины. Такая механическая обработка как истирание позволяет увеличить дисперсность глины, а также его удельную поверхность. В свою очередь, увеличение дисперсности глины отражается на прочности и водопроницаемости керамических изделий, благодаря уменьшению капиллярно-пористых тел. Таким образом, доминирование пор малых объемов указывает на то, что глина подвергалась какой-либо механической обработке.

Для исследования микроструктуры керамических изделий применяют не только оптическую микроскопию, просвечивающую электронную микроскопию, но и растровую электронную микроскопию. Каждый метод имеет свои оптимальные разрешающие способности, свои преимущества и ограничения.

В оптическом, а также в просвечивающем электронном микроскопе изображение объекта формируется одновременно во всех его точках, что приводит к искажению реальной микроструктуры.

Принцип получения изображения в растровом электронном микроскопе (РЭМ) иной. Как и в телевидении, изображение объекта в растровом электронном микроскопе формируется последовательно во времени, от одной точки объекта к другой путем перемещения по поверхности объекта остросфокусированного пучка электронов – электронного зонда. Вследствие чего полученные изображения получают наиболее информативными и наглядными.

Испытания проведены на рентгеновском аппарате РЭМ BS-300 в Кыргызско-Российском Славянском Университете им. Б. Ельцина, в учебно-научной лаборатории физики твердого тела. Исследование микроструктуры образцов по РЭМ-изображениям [123, с. 96] проведено в лаборатории грунтоведения и технической мелиорации грунтов Геологического факультета Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

Метод Роквелла. При исследовании древних керамических изделий Кыргызстана большое внимание уделяют “внутренним” свойствам и качествам, таким как твердость, плотность, пористость черепка. Из всех перечисленных свойств наименее изученной является твердость, которая лежит в основе прочности и долговечности керамических изделий. Для измерения твердости применяются такие методы, как метод Бринелля, метод Роквелла, микротвердомер. Метод Роквелла является менее трудоемким и имеет ряд преимуществ: нет необходимости проводить расчеты и подготовку поверхности исследуемого образца за счет применения предварительной нагрузки P_0 .

При измерении твердости по Роквеллу в образец под двумя последовательно прилагаемыми нагрузками предварительной P_0 и общей P вдавливаются индентор, в качестве которого был использован стальной шарик диаметром 1,59 мм:

$$P = P_0 + P_1, \quad (1)$$

где P_1 – основная нагрузка.

Предварительно индентор вдавливаются под нагрузкой $P_0 = 100 \text{ Н}$, обеспечивающей повышенную точность испытания, которую не снимают до конца испытания. Индентор под нагрузкой P_0 вдавливаются в образец на глубину h_0 . Далее подается полная нагрузка $P = 600 \text{ Н}$ на образец, при этом глубина вдавливания будет равна h_1 . Основная нагрузка $P_1 = 500 \text{ Н}$ снимается после выдержки в течение определенного времени. Величина пластической деформации характеризуется разностью $h_1 - h_0$, которая является критерием твердости керамического изделия методом Роквелла.

Измерения проведены в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Кыргызского Государственного Технического Университета им. И. Раззакова на приборе ТК-2М.

Метод гидростатического взвешивания. Структура керамических материалов разнородна и сложна. В них содержатся поры различных размеров, которые являются одной из основных составных частей структуры керамики.

На свойства керамических изделий существенное влияние оказывают объем и размеры пор, характер их распределения. В частности, на прочность оказывает влияние как общая пористость, так и размер пор, их равномерное распределение. Очевидно, возрастание пористости приводит к понижению прочности керамических изделий из-за возрастающих дефектов в структуре.

В свою очередь, на образование размеров и структуры пор важное влияние оказывают свойства сырья, составы смесей, технология их изготовления. В формовочной массе содержится определенное количество пор, которые образуются в процессе замеса и лепки пластичного керамического теста. Появление пор может быть обусловлено присутствием в глине органических добавок, выгорающих при обжиге. Температура обжига также оказывает влияние на пористость: чем она выше, тем черепок более плотный, спеченный.

Размеры и формы пор различны. В структуре керамических изделий сочетаются все виды пор, которые могут быть закрытыми, открытыми и тупиковыми. В закрытых порах поры отделены друг от друга, от открытых пор и окружающей среды и не пропускают воду и газы, в то время как тупиковые и открытые поры пропускают воду. Насыщаемость пор обусловлена сечением и длиной поровых каналов, которые они формируют. Насыщение водой в крупных порах происходит быстро, но на воздухе в порах вода не удерживается из-за малых капиллярных сил [11, с. 68].

Исследование таких признаков, как размеры и формы пор, способствует получению информации о качестве сырья, способах его обработки. Поэтому важно изучить пористость керамических изделий, измерение которых прямыми методами очень сложны. Поэтому в технологии керамических изделий

пористость определяется путем определения таких показателей, как плотность и водопоглощение, которые непосредственно зависят от пористости. Для этого применяют разные методы, например, получивший наибольшее распространение метод гидростатического взвешивания образцов, которые предварительно были насыщены жидкостью [36, с. 4]. Этот метод позволяет определить не только кажущуюся плотность и степень водопоглощения, но и рассчитать открытую пористость. Насыщение пор образцов жидкостью проведено методом вакуумного насыщения. В качестве пропитывающей жидкости использована вода.

Сухие взвешенные образцы (не менее трех) были помещены в вакуумный эксикатор и выдержаны 14 часов при остаточном разряжении 0,1 мм ртутного столба. Затем образцы были залиты водой так, чтобы полностью были покрыты ею, и выдержаны до полного прекращения выделения пузырьков воздуха.

Насыщенные жидкостью образцы были взвешены на гидростатических весах на воздухе и в погруженном состоянии в жидкости. Для взвешивания на воздухе насыщенных жидкостью образцов необходимо вынуть их из сосуда, удалить избыток влаги с поверхности с помощью хлопчатобумажной ткани, которую предварительно смочили и хорошо отжали. Затем образцы были немедленно взвешены. Далее взвешенные образцы были снова помещены в жидкость с помощью легкой сетчатой подставки и взвешены. Перед началом опыта чашки весов были уравновешены. Эта операция повторяется еще два раза. По трем взвешиваниям определены средние арифметические значения. По полученным значениям измерена кажущаяся плотность и степень водопоглощения, а также рассчитана открытая пористость. Исследования проведены в Проектно-исследовательском центре недропользования при Институте геомеханики и освоения недр НАН КР.

Выводы по главе 2

Из анализа литературы выявлено, что многие исследователи в последние годы стали активно изучать древние керамические изделия различными современными методами, в то время как в Кыргызской Республике такие исследования не проводились или проводились с эпизодическим использованием этих методов. Во многом это объясняется тем, что традиционно местные историки к своим исследованиям недостаточно широко привлекали представителей естественных и технических наук, что ограничивало возможности усиления междисциплинарного дискурса в области изучения древних керамических изделий, как в самой республике, так и в международных научных проектах и контактах.

Разработанный в диссертации комплексный подход на основе взаимодополняющих современных методов исследования древних керамических изделий дал возможность получить целый ряд их новых параметров, позволивших на их основе реконструировать эволюцию древнего и средневекового керамического производства. В ряду методов этого комплексного подхода, в работе были использованы: оптическая и растровая электронная микроскопия, рентгенофлуоресцентный и рентгенофазовый анализ, технические испытания на твердость по Роквеллу и метод гидростатического взвешивания. К тому же перечисленные методы не являются конкурирующими, они дополняют друг друга, позволяют снизить время и затраты на проведение исследований и повышают их общую информационную эффективность.

ГЛАВА 3

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ АРТЕФАКТОВ

Реконструкция технологий исследуемых керамических производств Кыргызстана связана с изучением физико-механических и физико-химических характеристик керамических изделий, которые исследованы в данной работе.

3.1. Определение твердости

Практика показывает, что керамические изделия имеют неравномерную плотность, вследствие чего замеры твердости в двух рядом находящихся точках дают разные их показатели. Иногда разность показателей очень велика в связи с тем, что наконечник прибора может попасть в поры или на твердые зерна примесей, содержащихся в керамическом образце. Для получения достоверных результатов было сделано пять замеров и вычислена средняя твердость. Полученные значения твердости приведены в таблице 3.1.

Измерения твердости керамических изделий разного времени показали, что значения твердости различны. Такие различия связаны со следующими факторами:

- древние керамисты не могли достичь постоянства температуры в печи, что привело к понижению твердости керамических изделий при довольно высоких температурах;
- состав глины определялся на глаз, эмпирически, основываясь на опыте керамистов;

- мастера одного и того же керамического пункта употребляли разные сырьевые материалы;
- древние мастера не только одного керамического центра, но и каждый мастер в отдельности, имели свои технологические особенности обжига и обработки глин.

Таблица 3.1 - Результаты измерения твердости образцов древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана методом Роквелла

№ обр.	Местонахождение	Век	HR1	HR2	HR3	HR4	HR5	средняя
1	бассейн р. Тосор	II тыс. до н.э.	20	10	9	16	25	16
2	с. Уч-Курбу	III-II в. до н.э.	26	13	28	31	15,5	22,7
3	бассейн р. Тосор	II-III вв.	51	48	61	83	65	61,6
4	с. Жаркынбаево	II-III вв.	76	90	87	89	77	83,8
5	с. Красная речка	VIII-IX вв.	103	105	89	85	71,5	90,7
6	башня Бурана	VIII-X вв.	74	118	72	122	124	102
7	с. Кан-Добо	X-XII вв.	117	118	114	95	117	112,2
8	поселение Кайнар		125	102	119	100	122	113,6
9	с. Кызыл-Сенир	X-XII вв.	75	87,5	125	119	97	100,7
10	с. Эпкин	X-XII вв.	129	133	71	131	76	108
11			82	55	58	91	94	76
12	с. Кок-Жар	X-XII вв.	73	126	90	87	127,5	100,7
13	гор. Садыр-Курган	X-XII вв.	125	126	113,5	96	92	110,5
14	с. Курменты	X-XII вв.	115	82	85	117	119	103,6
15	с. Красная речка	X-XII вв.	99	68	109	110	69	91
16	гор. Садыр-Курган	XI-XIII вв.	125	127	102	104	94,5	110,5
17	башня Бурана	XV-XVI вв.	115	126	91	89	129	110
18			112	96	116	117	92,5	106,7

Несмотря на эти различия, твердость в среднем повышалась с течением времени (рис. 3.1), что указывает на совершенствование мастерства гончаров, технологических процессов и их дифференциации [88, с. 46, 93, с. 45].

Полученный график твердости (рис. 3.1) может служить основой для паспортизации физико-механических свойств керамических изделий того или иного памятника или региона, позволяющей выявить традиции их изготовления в определенном регионе.

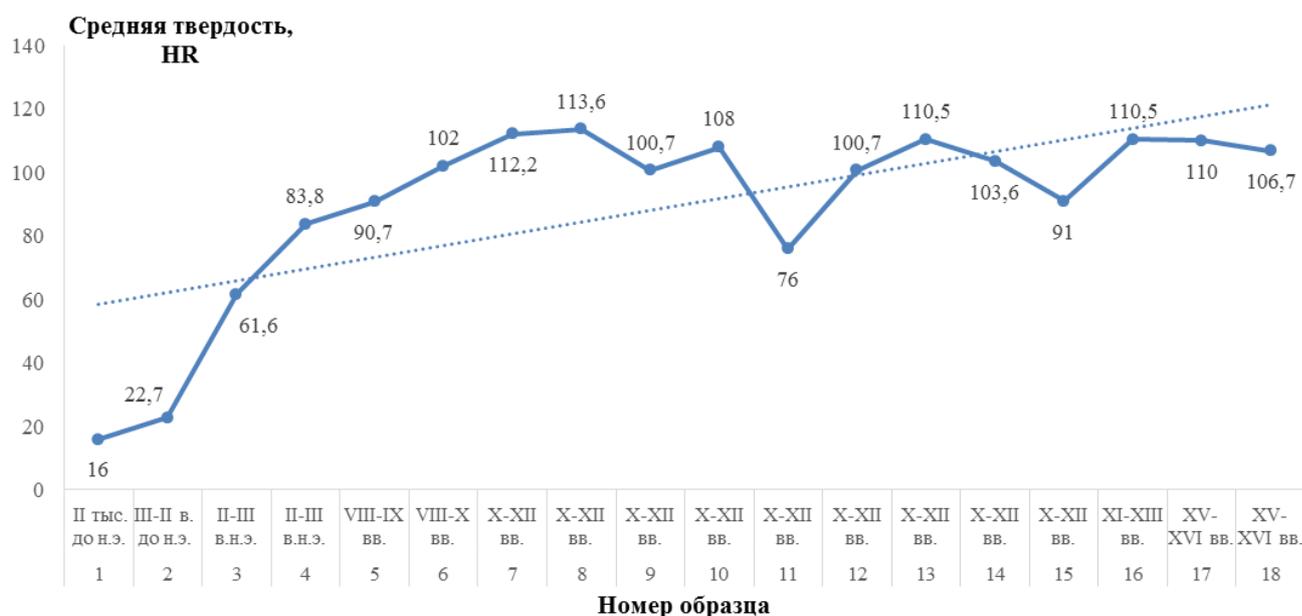


Рисунок 3.1 - Динамика изменения твердости древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

3.2. Определение кажущейся плотности, водопоглощения и открытой пористости

Для определения кажущейся плотности и степени водопоглощения керамические образцы были взвешены в сухом состоянии, в состоянии насыщения жидкостью, взвешенным на воздухе и погруженном в жидкость. По экспериментальным данным определены кажущаяся плотность и водопоглощение, а также рассчитана открытая пористость по формулам (2-4) [93, с 43].

Водопоглощение B определено из выражения:

$$B = ((m_1 - m) / m) 100 \%, \quad (2)$$

где m и m_1 – соответственно масса сухого образца и насыщенного водой, грамм.

Кажущаяся плотность рассчитана по формуле:

$$\rho_{\text{каж}} = (m\rho_{\text{ж}}) / (m_1 - m_2), \quad (3)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, г/см³;

m_1 и m_2 – масса соответственно взвешенного на воздухе и погруженного в жидкость насыщенного жидкостью образца, грамм.

Расчет *открытой пористости* P_o проведен по формуле

$$P_o = B\rho_{каж}, \text{ или } P_o = ((m_1 - m) / (m_1 - m_2)) 100 \%. \quad (4)$$

Результаты всех испытаний и расчетов занесены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Экспериментальные и расчетные данные

№ образца	Век	Масса образца, г			Кажущаяся плотность, г/см ³ , ρ_k	Водопоглощение, %, В	Открытая пористость, %, P_o
		Сухого, m	Насыщенного, взвешенного на воздухе, m_1	Насыщенного, взвешенного в воде, m_2			
1	II тыс. до н.э.	3,117	3,424	1,911	1,56	28,41	44,40
2	III-II в. до н.э.	3,240	3,648	1,954	1,62	26,94	43,84
3	II-III в.н.э.	10,147	11,85	6,274	1,82	16,78	30,54
4	II-III в.н.э.	9,006	10,326	5,533	1,88	14,66	27,54
5	VIII-IX вв.	1,614	1,899	1,044	1,88	17,66	33,33
6	VIII-X вв.	10,495	12,115	6,444	1,85	15,44	28,57
7	X-XII вв.	9,901	11,358	6,198	1,91	14,72	28,24
8	X-XII вв.	10,413	11,926	6,424	1,89	14,53	27,50
9	X-XII вв.	10,724	12,111	6,8	2,02	12,93	26,12
10	X-XII вв.	3,177	3,685	2,044	1,93	14,99	30,01
11	X-XII вв.	6,038	7,465	3,86	1,67	23,63	39,58
12	X-XII вв.	1,852	2,15	1,21	1,87	16,09	31,70
13	X-XII вв.	1,205	1,535	0,864	1,79	27,39	39,18
14	X-XII вв.	2,626	3,11	1,695	1,85	18,43	34,20
15	X-XII вв.	6,214	7,312	3,685	1,71	17,67	30,27
16	XI-XIII вв.	1,679	1,975	1,052	1,82	17,63	32,07
17	XV-XVI вв.	0,568	0,721	0,372	2,06	9,85	20,29
18		7,205	9,252	4,642	1,91	12,59	24,09

Согласно результатам в образце №1, датированном II тыс. до н.э., пористость достигает 44%. Такая высокая пористость материала не допускает плотного спекания частиц материала. Они склеиваются стекловидным расплавом лишь в точках касания песчинок, что объясняет хрупкость керамики. К средневековью общий показатель пористости в среднем снижается и доходит до 20% (образец №17). Снижение пористости обусловлено не только

характеристиками сырья, составами смесей, технологиями изготовления, но и температурой обжига: чем она выше, тем черепок более плотный. Все это указывает не только на совершенствование мастерства гончаров, но и на совершенствование способов изготовления керамических изделий.

Так, в процессе изготовления керамических изделий на гончарном круге, в результате более упорядоченного, направленного давления рук мастера на движущуюся пластичную массу находящиеся в ней пузырьки воздуха приобретают специфическую сплюснуто-удлиненную форму и одинаковую ориентацию – вдоль поверхности изделия, т.е. лепка на круге способствует большему уплотнению и компактности теста. Вследствие этого уменьшаются размеры пор и снижаются показатели общей пористости изделий, изготовленных на гончарном круге (рис. 3.2).

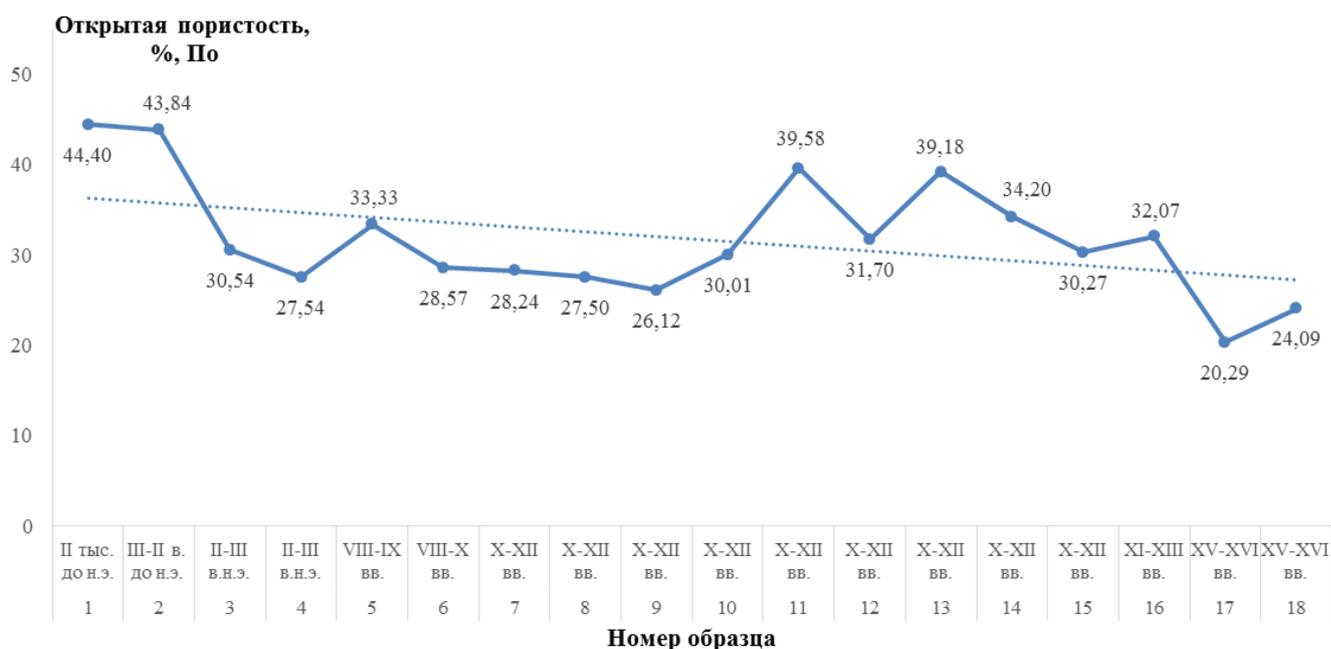


Рисунок 3.2 - Динамика изменения открытой пористости древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Измерения степени водопоглощения керамических изделий разного времени показали, что значения водопоглощения различны. Несмотря на эти различия, водопоглощение в среднем со временем понижается (рис. 3.3), что указывает на изменение или введение новых приемов изготовления керамических изделий, которые были взаимосвязаны.

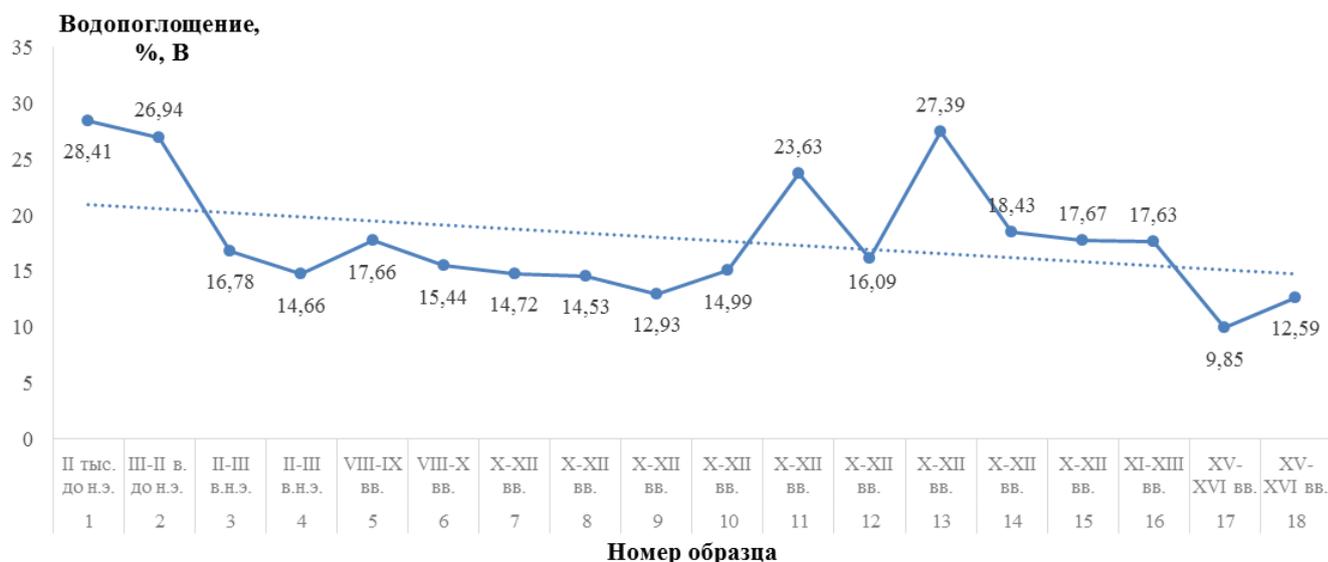


Рисунок 3.3 - Динамика изменения водопоглощения древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Распространение одного приема предполагает изменение и введение другого, например, введение способа лощения. В результате сглаживания уменьшается водопоглощение, так как мелкие частицы глинистой массы закрывали поровые каналы, вследствие чего увеличивается плотность (рис. 3.4). В то же время водопоглощение образцов, покрытых ангобом, меньше водопоглощения изделий без ангоба.

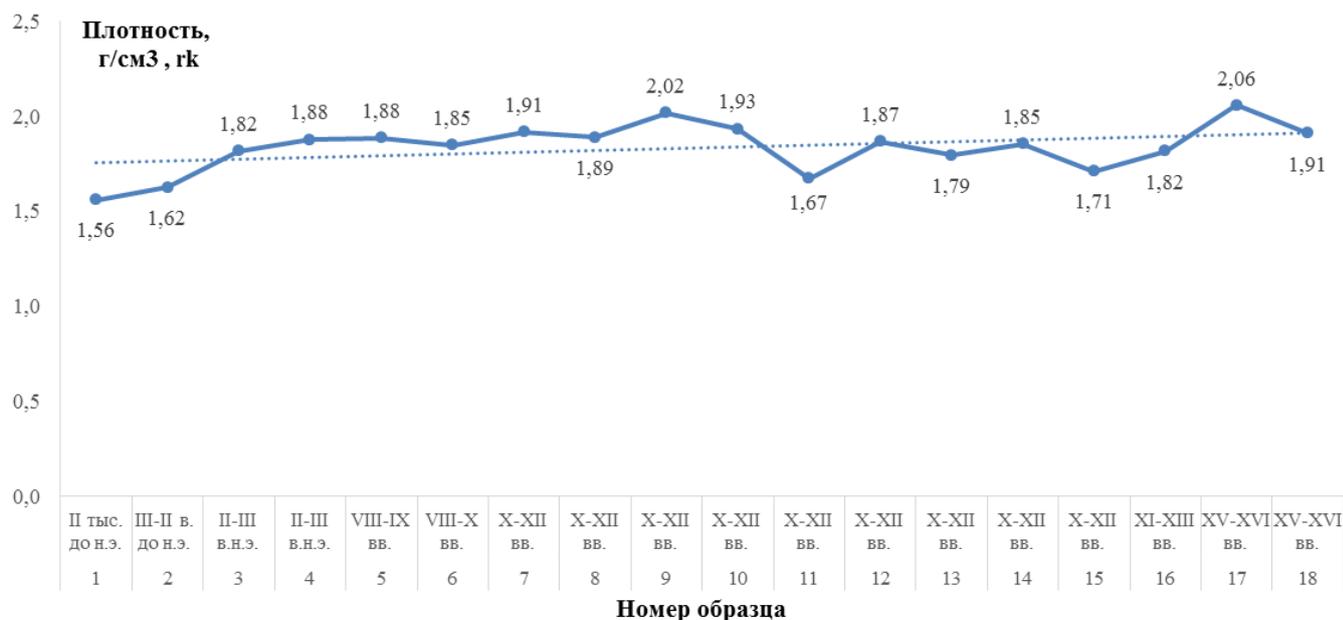


Рисунок 3.4 - Динамика изменения плотности древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Таким образом, полученные экспериментальные данные плотности, водопоглощения и пористости керамических изделий позволили определить структуру, виды пористости, а также их эксплуатационные свойства.

3.3. Определение химического состава

Химический состав исследуемых керамических изделий определен методом рентгенофлуоресцентного анализа, который поддерживает 79 элементов и позволяет определить любые элементы с атомным номером больше 4 (Be). Исследование химического состава способствует выяснению важных технологических деталей, незаметных при обычном изучении материала.

Полученные значения химического состава керамических изделий по элементам приведены в таблице 3.3. Для проведения сравнения полученных результатов с опубликованными данными данные по содержанию химических элементов были пересчитаны в их оксиды (табл. 3.4) [94, с. 103].

Исследование качественного состава и характера обожженных глиняных масс черепка изделий различных форм и видов показало, что они не однородны по своему составу и различаются по количественному содержанию основных компонентов и их соотношению. Согласно данным химического анализа выявлены, например, изделия со значительным содержанием оксида алюминия (26%) (образец №2) и кремния (70%) (образец №3) с небольшим содержанием оксидов кальция (1-2%) (образцы №2, 3, 9), железа (3%) (образцы №1, 2), калия (2-3%) (образцы №2-4, 13,17) и магния (1-2%) (образцы №1-3, 16). И, наоборот, изделия, характеризующиеся довольно большим содержанием оксидов кальция (до 13%) (образцы №11, 17), магния (до 4%) (образцы №7, 9, 17), железа (9-10%) (образцы №3, 6, 7), калия (6-7%) (образцы №6, 8, 9) и небольшим количеством оксида алюминия (16-17%) (образцы №4-6, 16-18) и кремния (45-47%) (образцы №4, 5) [94, с. 104].

Таблица 3.3 - Химический состав образцов керамических изделий по элементам

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Si	29,11	26,61	32,89	21,97	21,33	23,91	25,53	24,49	27,01	27,18	24,75	26,14	25,78	25,11	26,39	25,66	24,72	24,98
Al	9,63	13,79	10,58	9,21	8,92	9,17	11,56	10,85	9,99	10,43	9,54	11,23	9,77	10,73	10,61	8,99	9,12	9,07
Fe	2,52	7,38	2,19	5,42	5,92	6,69	6,41	4,54	6,23	4,41	4,85	5,32	4,87	5,18	4,9	4,33	5,33	5,45
K	4,52	2,97	2,03	3,18	3,44	5,11	3,31	5,96	5,23	3,56	1,7	4,15	2,52	4,2	4,3	4,53	2,51	2,53
Ca	4,35	0,359	0,969	7,34	5,52	6,42	3,23	6,47	1,39	5,37	9,05	3,31	7,13	4,52	4,28	6,56	8,99	9,47
Mg	0,69	0,86	0,32	1,66	1,3	1,52	2,38	2,01	2,4	1,5	2,35	2,01	2,18	1,53	1,9	1,16	2,46	2,09
Ti	0,203	0,354	0,427	0,345	0,389	0,502	0,453	0,319	0,44	0,331	0,381	0,361	0,448	0,367	0,495	0,351	0,455	0,475
P	0,185	-	-	-	-	0,402	0,342	0,075	0,445	0,168	0,108	0,047	0,08	-	0,392	-	0,144	0,132
Mn	0,048	0,039	0,010	0,086	0,123	0,116	0,093	0,109	0,070	0,103	0,087	0,073	0,093	0,103	0,077	0,090	0,131	0,095
Ba	0,071	0,017	0,015	0,065	0,068	0,109	0,067	0,064	0,083	0,078	0,064	0,057	0,107	0,058	0,068	0,119	0,079	0,097
Zr	0,025	0,020	0,036	0,024	0,028	0,036	0,027	0,024	0,028	0,026	0,021	0,020	0,035	0,026	0,027	0,032	0,022	0,020
V	-	0,026	0,013	0,013	0,015	0,016	0,016	0,011	0,015	0,011	0,016	0,013	0,017	0,011	-	0,011	0,015	0,016
Sr	0,029	0,023	0,018	0,055	0,042	0,071	0,036	0,028	0,021	0,029	0,062	0,028	0,048	0,034	0,032	0,035	0,042	0,041
Rb	0,029	0,012	0,013	0,019	0,022	0,022	0,021	0,020	0,017	0,020	0,011	0,017	0,012	0,017	0,020	0,023	0,008	0,008
Zn	0,006	0,008	-	0,010	0,015	0,018	0,012	0,015	0,011	0,017	0,019	0,011	0,009	0,013	0,024	0,009	0,012	0,010
Cr	0,023	0,005	-	0,033	0,012	0,011	0,006	0,017	0,007	0,013	0,007	0,039	0,013	0,008	0,006	0,006	0,009	0,016
Cu	-	0,005	-	-	0,006	0,007	-	-	-	-	0,014	0,005	-	-	-	0,010	0,006	0,008
Ni	-	-	-	-	0,005	0,006	-	-	-	-	-	-	0,005	-	-	-	0,008	0,007
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,300	-	-	1,220	0,146	0,285
Ga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	-	-	0,007	-	0,004
Y	-	-	-	-	0,004	0,006	0,004	-	0,004	0,004	-	-	-	0,004	-	-	-	-
Na	1,17	-	0,57	2,87	5,53	0,89	0,14	0,49	-	0,14	1,58	0,8	-	1,46	-	-	-	0,22
S	0,258	-	0,14	2,82	2,25	0,209	-	0,128	0,063	-	-	0,122	-	1,34	-	1,56	-	0,12
As	-	-	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb	-	-	-	-	-	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3.4 - Химический состав образцов керамических изделий в оксидах

№ обр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	62,26	56,92	70,35	47	45,62	51,14	54,62	52,38	57,77	58,14	52,94	55,91	55,15	53,71	56,45	54,89	52,89	53,44
Al ₂ O ₃	18,2	26,06	20	17,39	16,86	17,32	21,84	20,51	18,88	19,71	18,03	21,23	18,46	20,27	20,05	17	17,24	17,13
Fe ₂ O ₃	3,61	10,55	3,14	7,74	8,46	9,57	9,16	6,49	8,9	6,31	6,94	7,61	6,96	7,4	7,01	6,18	7,62	7,79
K ₂ O	5,45	3,58	2,45	3,83	4,15	6,16	3,99	7,18	6,3	4,29	2,04	5	3,04	5,07	5,17	5,46	3,02	3,05
CaO	6,09	0,502	1,36	10,27	7,72	8,99	4,51	9,05	1,94	7,5	12,66	4,63	9,97	6,32	5,99	9,18	12,57	13,25
MgO	1,15	1,43	0,54	2,75	2,16	2,53	3,94	3,33	3,98	2,48	3,9	3,33	3,61	2,54	3,14	1,92	4,07	3,47
TiO ₂	0,338	0,59	0,714	0,576	0,649	0,838	0,755	0,532	0,734	0,552	0,636	0,602	0,747	0,612	0,825	0,586	0,759	0,792
P ₂ O ₅	0,425	-	-	-	-	0,92	0,784	0,075	1,02	0,385	0,248	0,107	0,183	-	0,897	-	0,33	0,303
MnO ₂	0,076	0,061	0,015	0,136	0,194	0,183	0,146	0,172	0,111	0,163	0,138	0,115	0,147	0,163	0,122	0,142	0,208	0,15
BaO	0,079	0,019	0,016	0,073	0,076	0,122	0,075	0,064	0,092	0,087	0,072	0,064	0,119	0,065	0,076	0,133	0,088	0,108
ZnO ₂	0,034	0,027	0,048	0,033	0,034	0,049	0,036	0,032	0,038	0,036	0,028	0,027	0,047	0,036	0,036	0,043	0,029	0,027
V ₂ O ₅	-	0,047	0,023	0,024	0,027	0,028	0,029	0,019	0,027	0,02	0,028	0,022	0,03	0,02	-	0,02	0,027	0,028
SrO	0,035	0,027	0,021	0,066	0,05	0,084	0,042	0,033	0,024	0,029	0,074	0,034	0,057	0,041	0,038	0,042	0,05	0,049
Rb ₂ O	0,032	0,013	0,014	0,021	0,024	0,024	0,023	0,022	0,018	0,021	0,012	0,018	0,014	0,018	0,022	0,026	0,008	0,009
ZnO	0,008	0,0104	-	0,012	0,018	0,023	0,015	0,015	0,013	0,021	0,024	0,013	0,011	0,017	0,038	0,011	0,014	0,013
Cr ₂ O ₃	0,034	0,008	-	0,048	0,018	0,017	0,009	0,026	0,01	0,019	0,011	0,057	0,018	0,012	0,009	0,009	0,013	0,023
CuO	-	0,007	-	-	0,007	0,008	-	-	-	-	0,017	0,006	-	-	-	0,012	0,007	0,01
NiO	-	-	-	-	0,006	0,008	-	-	-	-	-	-	0,007	-	-	-	0,01	0,009
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	1,31	0,157	0,307
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-	0,009	-	0,005
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	0,006	0,007	0,006	-	0,05	0,005	-	-	-	0,005	-	-	-	-
Na ₂ O	1,58	-	0,77	3,86	7,45	1,2	0,19	0,49	-	0,19	2,13	1,08	-	1,97	-	-	-	0,29
SO ₃	0,258	-	0,14	2,82	2,25	0,209	-	0,128	0,063	-	-	0,122	-	1,34	-	1,56	-	0,12
As ₂ O ₃	-	-	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Результаты химического анализа дают интересную информацию. Из рисунка 3.5 видно, что два компонента SiO_2 и Al_2O_3 составляют главную массу вещества и занимают по весу 64-90%. Содержание кремнезема (SiO_2) колеблется, в основном, от 52 до 62%. Лишь в отдельных образцах керамических изделий количество SiO_2 снижается до 45-47% (образцы №4, 5) и повышается до 70% (образец №3). Большое содержание SiO_2 характерно для легкоплавких глин, это говорит либо о запесоченности глины, либо о том, что ее главным глинообразующим минералом не является каолинит [2, с. 52]. Повышенное содержание SiO_2 , не связанное с Al_2O_3 в глинистых минералах, также приводит к снижению связующей способности глин, прочности в высушенном и обожженном состоянии и повышению пористости обожженных образцов.

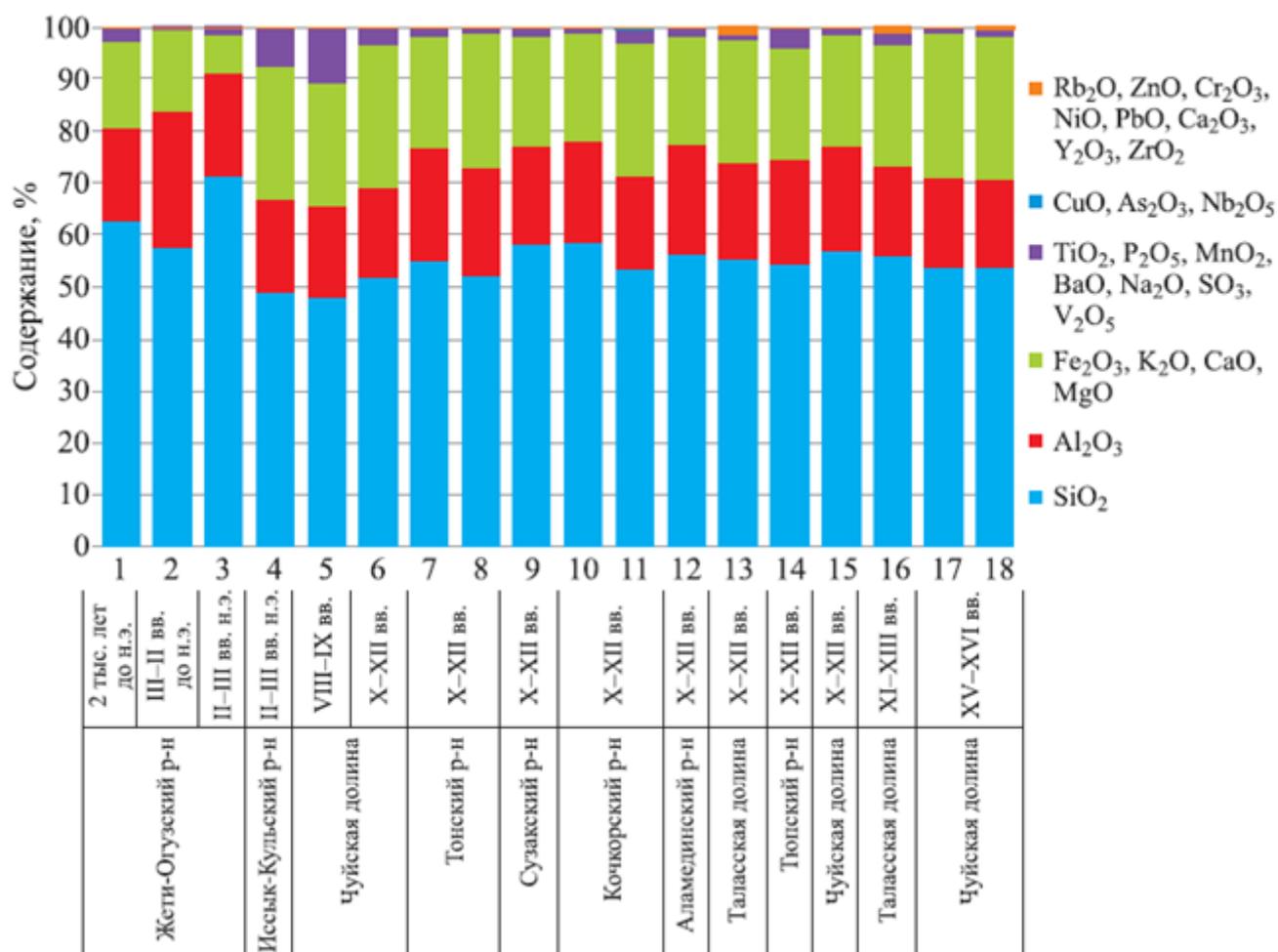


Рисунок 3.5 - Химический состав образцов древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Среднее содержание глинозема (Al_2O_3) – 17-21%, а в образце №2 увеличивается до 26%, что свидетельствует о повышенном количестве глинистого вещества, повышенной его дисперсности, вследствие этого, повышенной пластичности. Повышенный процент глинозема может также свидетельствовать об огнеупорности сырья [2, с. 61].

Четыре компонента (Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO) составляют вторую группу и занимают по весу 7-27%. По содержанию оксида железа (Fe_2O_3) и щелочей ($\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$) можно судить о легкоплавкости глин [2, с. 97]. Так, глины, содержащие мало глинозема и много щелочных оксидов, являются легкоплавкими (образцы №4, 5, 16-18).

В образцах №14-16 повышенное количество щелочных оксидов (в основном K_2O) при одновременном повышенном содержании Al_2O_3 и низком содержании других плавней обуславливает не только высокую огнеупорность глин, но и способность спекаться при низких температурах. В тоже время повышенный процент оксидов калия (K_2O) является признаком повышенного содержания слюды. Повышенное содержание оксидов железа (Fe_2O_3) придает изделиям желто-красно-бурый цвет, понижая их огнеупорность, а оксидов марганца (Mn_2O_3) – серый и т.д. [122, с. 215].

Кроме основных составных частей (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO), в керамических изделиях присутствуют в малых количествах (десятые и сотые доли процентов) оксиды титана (TiO_2), марганца (Mn_2O_3), натрия (Na_2O), бария (BaO), стронция (SrO), фосфора (P_2O_5), ванадия (V_2O_5) и серы (SO_3). В свинцовых керамических изделиях к этой группе оксидов присоединяется оксид свинца (PbO) (образцы №13, 16, 17, 18). В качестве красителей встречаются оксиды меди (CuO), ниобия (Nb_2O_5) и мышьяка (As_2O_3). Эти компоненты дают в сумме 1-11% [94, с. 107].

Особое внимание привлекают такие микроэлементы, как рубидий, хром, ванадий, никель, цирконий, галлий, иттрий. Их содержание очень невелико – от сотых до десятитысячных долей процента, но присутствие их в керамических изделиях может указать на место или время их изготовления. В составе отдельных образцах найдены мышьяк (образец №3) и ниобий (образец №6) [94, с. 108].

Химический анализ глиняной массы черепков изделий, обнаруженных на территории Кыргызстана, показал, что кыргызские мастера применяли для формовки изделий глиняные массы, различные по своему виду, минералогическому составу и характеру обработки. Отличия в глиняных массах черепков изделий проявлялись в разной степени ожелезненности глиняных масс, содержании алюмосиликатов и оксидов кальция, в разной дисперсности основной глиняной связки, в характере, размере кластического материала, в степени обработки глиняной массы.

Изучение химического состава черепка различных изделий позволяет констатировать существование хорошо разработанной и обоснованной технологии подготовки сырья, выявить ряд технологических приемов и особенностей этой технологии и их взаимосвязь. Кроме того, предварительные исследования глиняной массы черепка древних и средневековых изделий, обнаруженных на территории Кыргызстана, определили необходимость и показали возможность использования результатов этих исследований при изучении вопросов более широкого плана, как связь определенных глиняных масс с конкретными мастерами, мастерскими, временем, возможностью транспортировки глиняного сырья и т.д.

Исследование керамического материала рентгенофлуоресцентным анализом, изучение этнографических материалов позволяют сделать ряд выводов:

1. Глиняная масса черепка отличается не только цветом, внешним видом, но и структурой, и составом. Различия эти связываются с разными сырьевыми материалами и технологическими особенностями обжига и обработки глин.
2. Мастера одного и того же керамического пункта употребляли разнообразные по своему характеру, качеству и составу глиняные массы. При изготовлении керамических изделий кыргызские мастера использовали лессы, лессовидные суглинки, различные виды легкоплавких глин, глины огнеупорные, светложгущиеся и железистые (для ангобов).
3. В обнаруженных на территории Кыргызстана керамических изделиях установлено присутствие порядка 25 микроэлементов. Из них во всех найдены

такие элементы, как Ti, Mn, Ba, Zr, V, Sr, Rb, Zn, и Cr. Постоянное присутствие этих микроэлементов в образцах разных районов и возрастов – локальная особенность кыргызских керамических изделий.

3.4. Определение кристаллической фазы

В параграфе рассмотрены результаты рентгенофазового анализа.

Керамические изделия II тыс. до н.э. представлены образцом, обнаруженным в районе бассейна реки Тосор (образец №1). По результатам рентгенофазового анализа (рис. 3.6) установлено, что образец №1 состоит из аморфно-кристаллической фазы. Кристаллическая фаза представлена ангидритом ($d=2,32\text{Å}$), иллитом ($d=2,84\text{Å}$), ортоклазом ($d=1,774\text{Å}$), гематитом ($d=1,353\text{Å}$), касситеритом ($d=1,253\text{Å}$), форстеритом ($d=1,165\text{Å}$) и корундом ($d=1,513\text{Å}$) [58, с. 113].

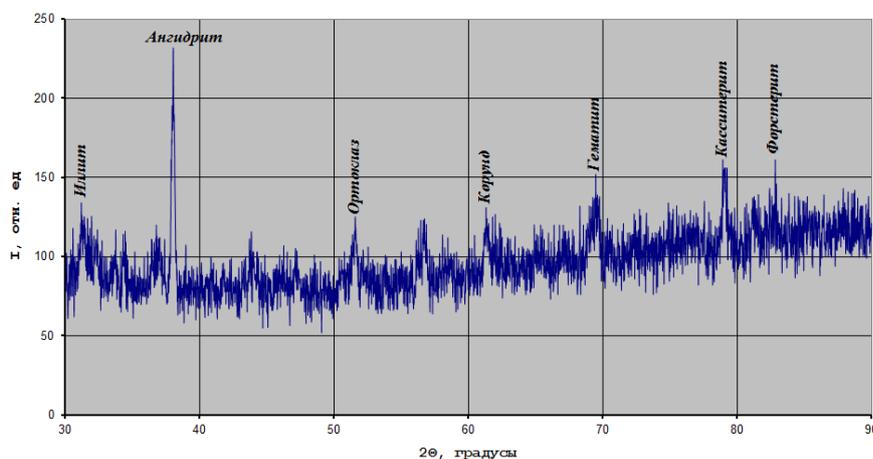


Рисунок 3.6 -
Рентгенограмма образца №1

Конец III-начало II в. до н.э. представлен черепком, который обнаружен в с. Уч-Курбу (образец №2). При рассмотрении образца №2 (рис. 3.7) выявлено, что он состоит из аморфно-кристаллической фазы. Кристаллическая фаза представлена корундом по дифракционному пику – $2,081\text{Å}$; силлиманитом – $1,948\text{Å}$; микроклином – $1,80\text{Å}$; мусковитом – $1,519\text{Å}$; цинкитом – $1,357\text{Å}$; лейцитом – $1,245\text{Å}$ и магнезитом – $1,189\text{Å}$.

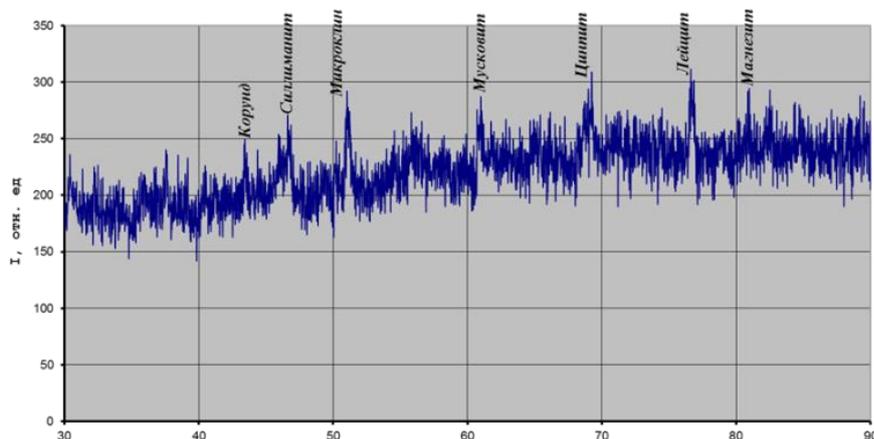


Рисунок 3.7 -
Рентгенограмма образца №2

II-III вв. представлены двумя образцами, обнаруженными в с. Жаркынбаево (образец №4) и районе бассейна реки Тосор (образец №3), которые состоят из кристаллической фазы, но отличаются составами. В образце №3 (рис. 3.8) присутствуют гидромусковит по дифракционному пику – 2,89А; альбит – 2,555А; ларнит – 2,027А; мелилит – 1,828А; корунд – 1,545А, сидерит – 1,396А; лейцит – 1,378А и α-кристобалит – 1,203А. Не следует исключать возможность присутствия пирофиллита, характерные рефлексy линий которого совпадают с рефлексyми линий мелилита.

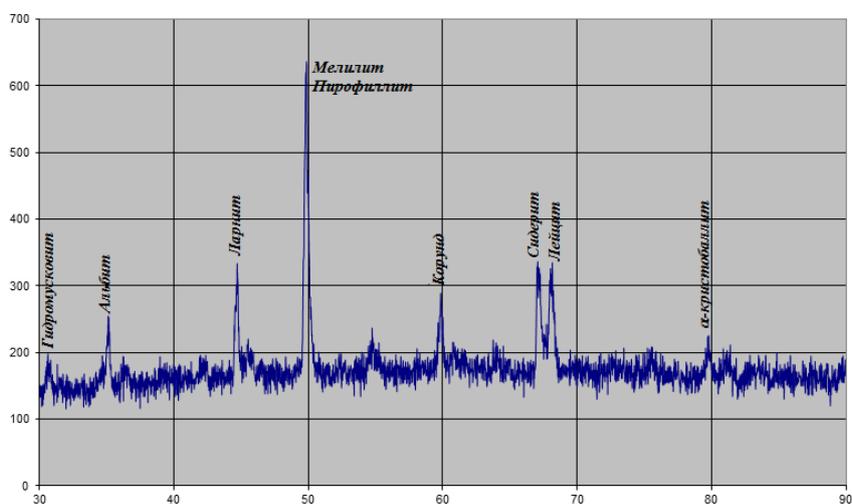


Рисунок 3.8 -
Рентгенограмма образца №3

В составе образца №4 (рис. 3.9) обнаружено присутствие ларнита по дифракционному пику – 2,732А; галлуазита – 2,227 А; форстерита – 2,151 и 1,392А; трехкальциевого алюмината – 1,955А; кальцита – 1,603А; магнезита – 1,249А и лимонита – 1,143А.

VIII-IX вв. представлены черепком из с. Красная речка (образец №5), при рассмотрении которого (рис. 3.10) выявлено, что он состоит из аморфно-

кристаллической фазы. Кристаллическая фаза представлена нонтронитом по дифракционному пику – 2,266А; гематитом – 1,844А; гетитом – 1,562А; лейцитом – 1,376А; цинкитом – 1,303А и кальцитом – 1,149А [94].

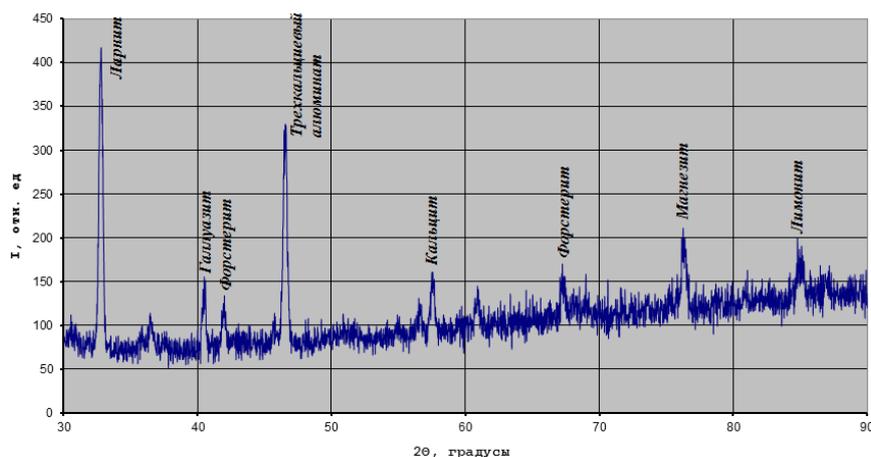


Рисунок 3.9 - Рентгенограмма образца №4

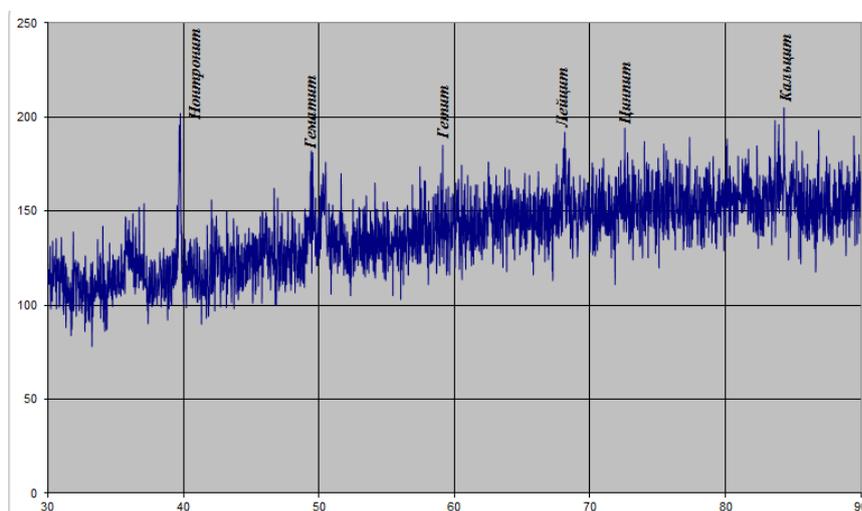


Рисунок 3.10 - Рентгенограмма образца №5

VIII-X вв. представлены изделием, обнаруженным у башни Бурана (образец №6), который состоит из аморфно-кристаллической фазы (рис. 3.11). Кристаллическая фаза представлена трехкальциевым алюминатом (d=2,835А), тальком (d=2,474А), α-тридимитом (d=2,08А), форстеритом (d=1,787А), гидраргиллитом (d=1,52А) и α-кristобалитом (d=1,235А).

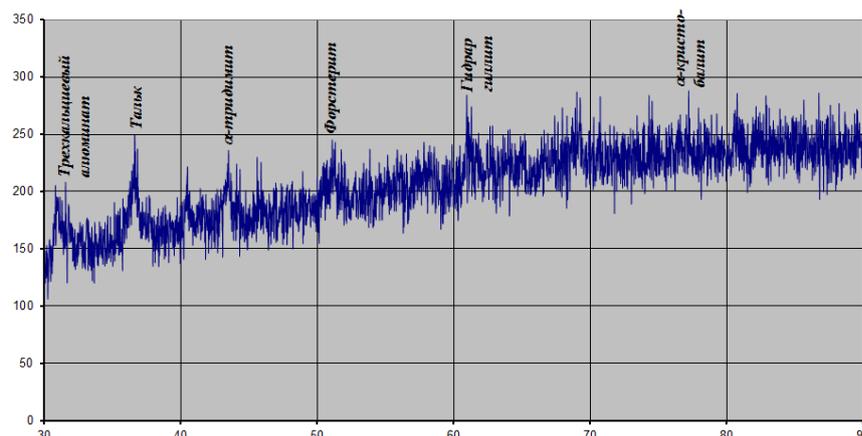


Рисунок 3.11 - Рентгенограмма образца №6

X-XII вв. представлены большим количеством керамических изделий, обнаруженных в различных районах Кыргызстана, что свидетельствует о пике керамического производства. Образцы №10 и 11 (с. Эпкин) одинаковы по фазам и состоят из аморфно-кристаллической фазы, при этом различны по составу. Кристаллическая фаза образца №10 представлена магнезитом ($d=2,503\text{Å}$), гипсом двуводным ($d=1,809\text{Å}$), иллитом ($d=1,38\text{Å}$) и гидрослюдой ($d=1,168\text{Å}$) (рис. 3.12).

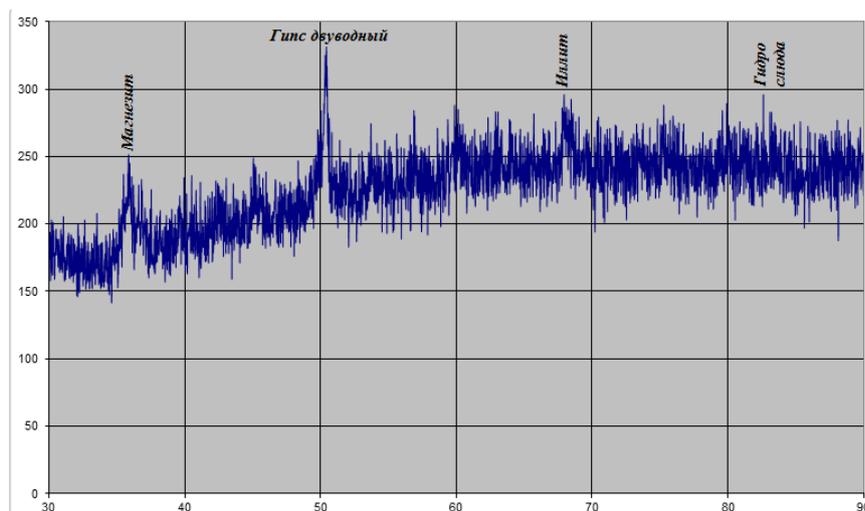


Рисунок 3.12 -
Рентгенограмма образца №10

Состав образца №11 (рис. 3.13) состоит из гипса двуводного по дифракционному пику – $2,144\text{Å}$; корунда – $2,543\text{Å}$; мелилита – $1,829\text{Å}$; форстерита – $1,631\text{Å}$; флогопита – $1,532\text{Å}$ и доломита – $1,389\text{Å}$.

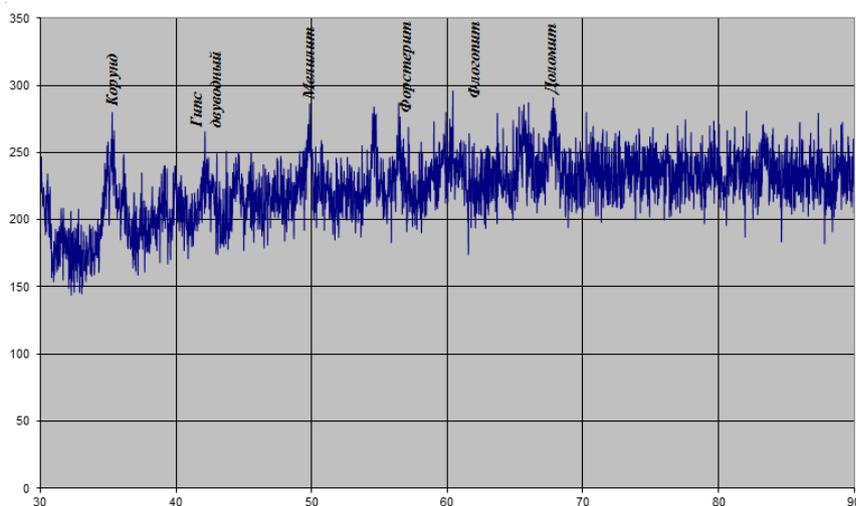


Рисунок 3.13 -
Рентгенограмма образца №11

Образец №9, обнаруженный в с. Кызыл-Сенир, состоит из аморфно-кристаллической фазы, хотя присутствуют пирофиллит по дифракционному пику – $2,406\text{Å}$; β -кварц – $2,233\text{Å}$; оливин – $1,792\text{Å}$; тальк – $1,653$ и $1,523\text{Å}$; лейцит – $1,441\text{Å}$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – $1,363\text{Å}$ (рис. 3.14).

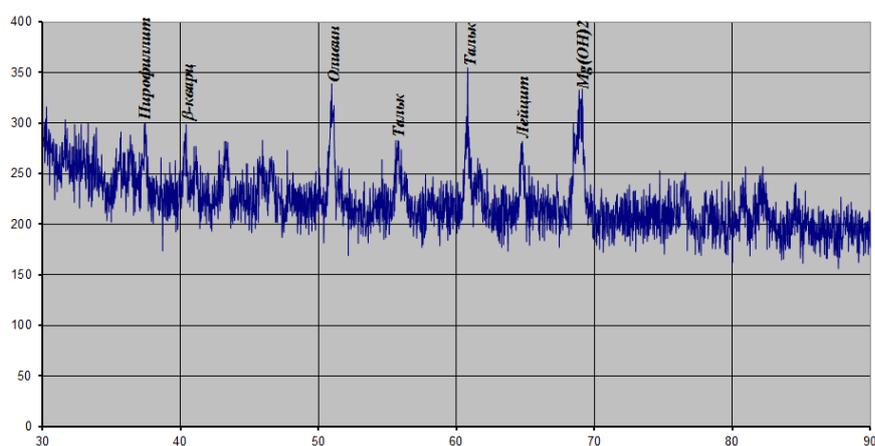


Рисунок 3.14 - Рентгенограмма образца №9

Керамическое производство Иссык-Кульской долины представлено керамическими изделиями, обнаруженными в с. Туура-Суу (образец №7), с. Кайнар (образец №8) и с. Курменты (образец №14). Образцы №8 и 14 состоят из аморфной фазы, хотя принадлежат различным керамическим центрам и при этом различны по составу. Состав образца №8 (рис. 3.15) состоит из флогопита по дифракционному пику – 2,425А; анатаза – 1,26А и гидрослюда – 1,112А.

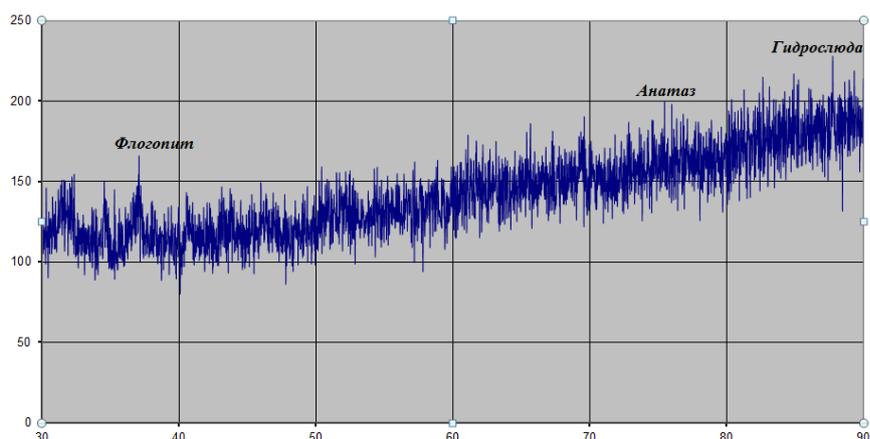


Рисунок 3.15 - Рентгенограмма образца №8

В составе образца №14 (рис. 3.16) присутствуют мусковит ($d=2,782\text{Å}$), периклаз ($d=2,432\text{Å}$), форстерит ($d=1,787\text{Å}$), флогопит ($d=1,361\text{Å}$) и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ($d=1,186\text{Å}$). Образец №7 (рис. 3.17) состоит из аморфно-кристаллической фазы. Кристаллическая фаза представлена тальком ($d=2,854\text{Å}$), нонтронитом ($d=2,265\text{Å}$), флогопитом ($d=2,006\text{Å}$), форстеритом ($d=2,499\text{Å}$), гипсом двуводным ($d=1,805\text{Å}$), ортоклазом ($d=1,373\text{Å}$) и β -кварцом ($d=1,228\text{Å}$). Не следует исключать возможность присутствия диопсида, характерные рефлексы линий которого совпадают с рефлексами линий форстерита.

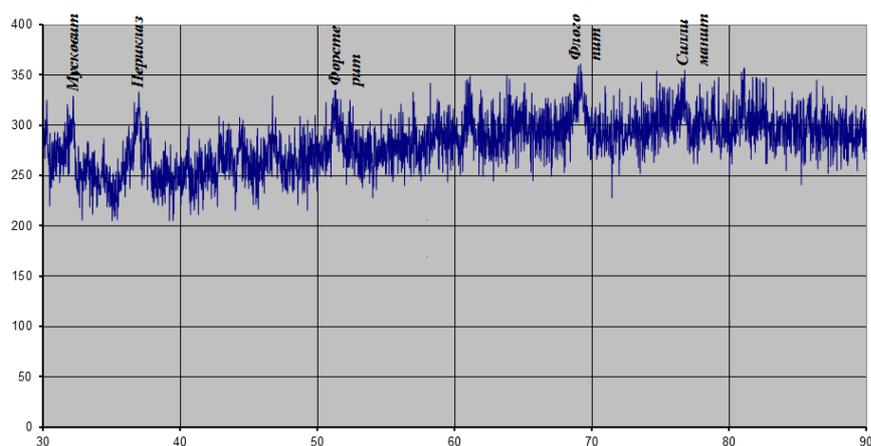


Рисунок 3.16 -
Рентгенограмма образца №14

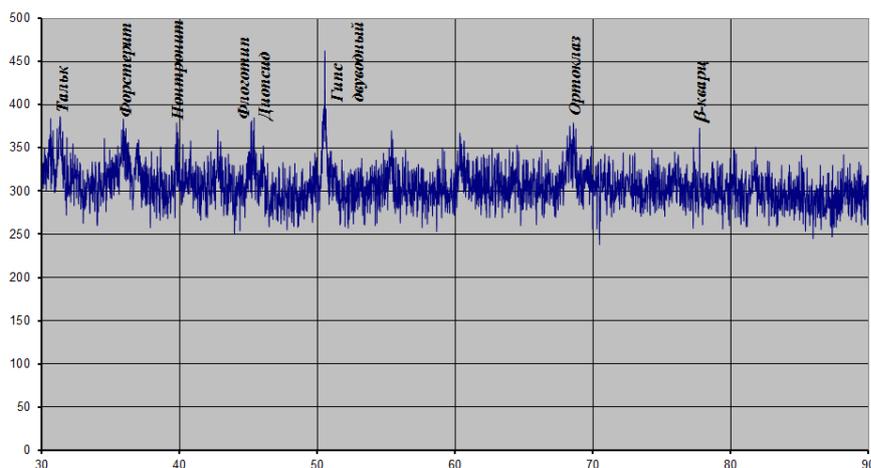


Рисунок 3.17 -
Рентгенограмма образца №7

Керамическое производство Чуйской долины представлено образцами №12 (с. Кок-Жар) и №15 (с. Красная речка). Образец №15 состоит из аморфной фазы (рис. 3.18), хотя присутствуют трехкальцевый алюминат по дифракционному пику – 1,941А; гидраргиллит – 1,521А; магнезит – 1,766А; цинкит – 1,357А; гидрослюда – 1,282А и волластонит – 1,17А.

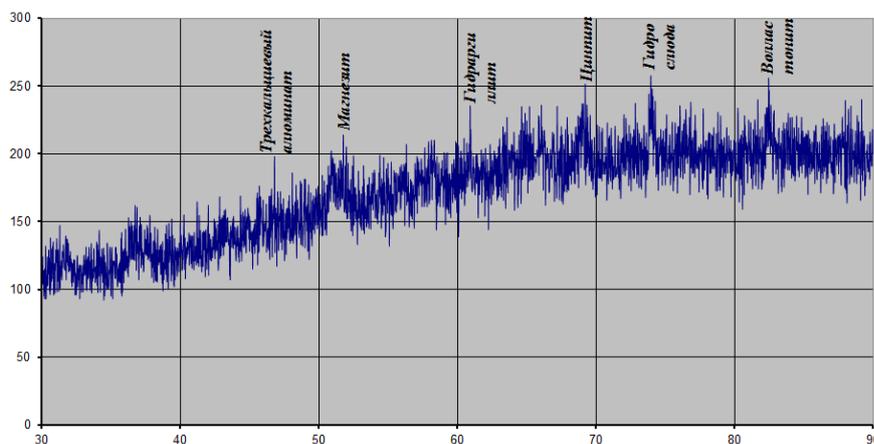


Рисунок 3.18 -
Рентгенограмма образца №15

Образец №12 состоит из аморфно-кристаллической фазы, кристаллическая фаза которого представлена ортоклазом ($d=2,929\text{Å}$), гидромусковитом ($d=2,391\text{Å}$), галлуазитом ($d=2,227\text{Å}$), мелилитом ($d=2,04\text{Å}$), муллитом ($d=1,521\text{Å}$) и гетитом ($d=1,359\text{Å}$) (рис. 3.19) [90].

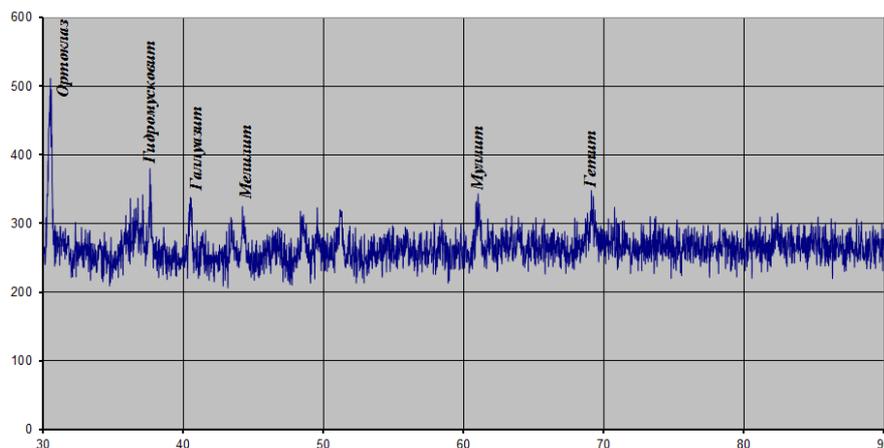


Рисунок 3.19 - Рентгенограмма образца №12

Керамическое производство Таласской долины X-XII вв. представлено черепком из городища Садыр-Курган (образец №13), при рассмотрении которого выявлено, что он состоит из аморфно-кристаллической фазы. Кристаллическая фаза представлена иллитом по дифракционному пику – $2,44\text{Å}$; оливином – $1,792\text{Å}$; флогопитом – $1,531\text{Å}$; ортоклазом – $1,372\text{Å}$ и касситеритом – $1,154\text{Å}$ (рис. 3.20).

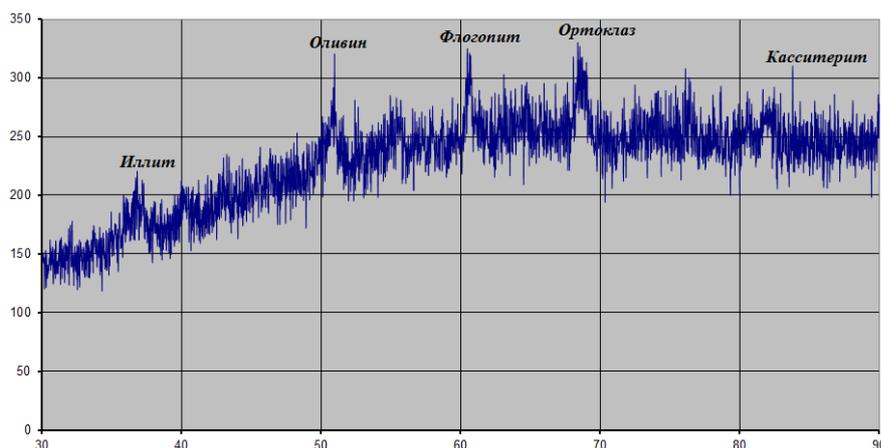


Рисунок 3.20 - Рентгенограмма образца №13

Керамическое производство XI-XIII вв. представлено образцом №16 из городища Садыр-Курган, который состоит из аморфной фазы (рис. 3.21), в составе которого присутствуют каолинит по дифракционному пику – $2,44\text{Å}$; микроклин – $1,803\text{Å}$; α -кристобалит – $1,37\text{Å}$ и тремолит – $1,107\text{Å}$.

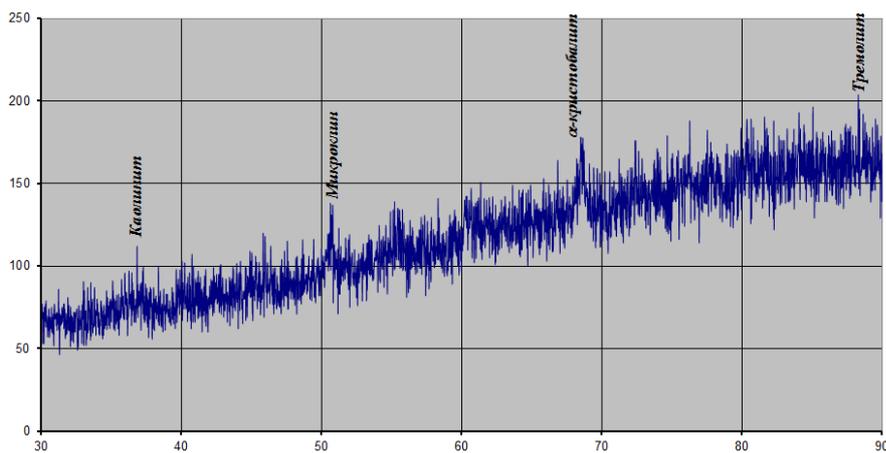


Рисунок 3.21 -
Рентгенограмма образца №16

Керамическое производство XV-XVI вв. представлено образцами №17 и 18 (башня Бурана) [90, с. 34]. Образец №17 состоит из аморфно-кристаллической фазы, в составе которой (рис. 3.22) присутствуют оливин ($d=2,41\text{Å}$), лимонит ($d=2,245\text{Å}$), кордиерит ($d=1,797\text{Å}$), серпентин ($d=1,528\text{Å}$) и пирофиллит ($d=1,366\text{Å}$).

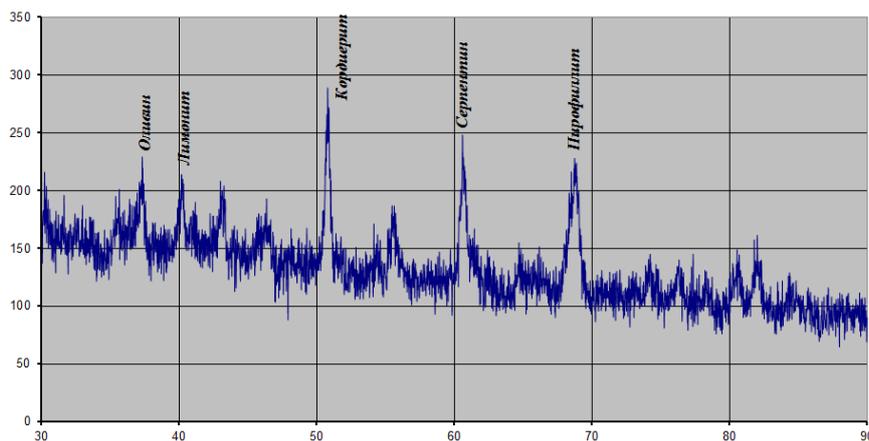


Рисунок 3.22 -
Рентгенограмма образца №17

Образец №18 состоит из аморфной фазы (рис. 3.23), в его составе присутствуют флогопит по дифракционному пику – $2,914\text{Å}$; оливин – $2,242\text{Å}$; анортит – $1,926\text{Å}$ и биотит – $1,463$ и $1,313\text{Å}$.

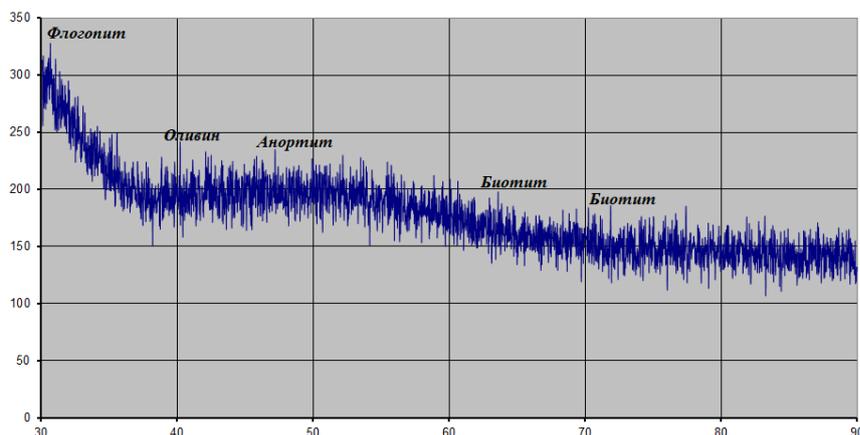


Рисунок 3.23 -
Рентгенограмма образца №18

В данном параграфе исследован характер высокотемпературных новообразований с использованием рентгенофазового анализа. Наличие или отсутствие тех или иных кристаллических фаз определяют как характер минерального состава используемых глин, так и степень ее температурного преобразования. Рентгенофазовый анализ еще раз показывает необходимость вывести археологию из дисциплины чисто исторической в междисциплинарное поле, потому что его использование в археологической практике позволит более четко выделить привозные изделия в общей массе изделий местного изготовления, более достоверно воссоздать условия керамического производства наших предков и определить температуру обжига.

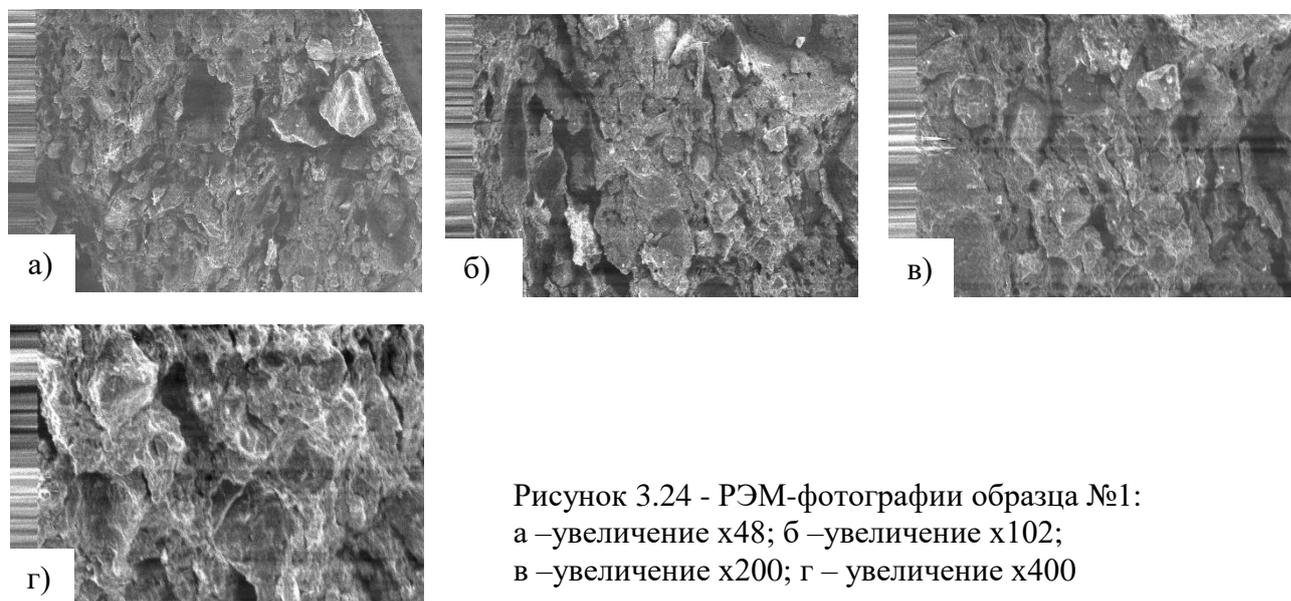
3.5. Исследование микроструктуры образцов

Пористость керамического изделия состоит из двух свойств: геометрической и структурной. Геометрическое свойство включает общий объем пор, их размеры и удельную поверхность. *Структурное свойство* включает форму пор, зависящую от типа микроструктуры (зернистая, ячеистая, волокнистая и слоистая) и пор (замкнутые, открытые, тупиковые).

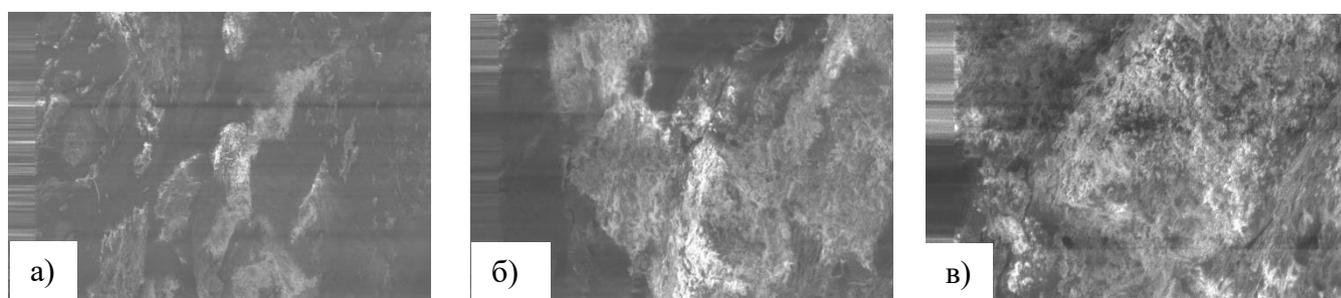
При исследовании керамических производств важно изучить не только химический и минералогический состав керамических изделий [58, с. 114, 89, с. 594], но и их микроструктуру, которая определяет многие свойства. В ней заложена информация о размере и форме глинистых частиц, о ее прочности, об условиях формирования глинистой породы, в которой сочетаются разные морфометрические, геометрические и энергетические признаки.

В параграфе рассмотрены результаты растровой электронной микроскопии, с помощью которой изучена микроструктура исследуемых образцов.

Исследование микроструктуры образцов №17 показало, что максимальный диаметр пор равен 170 мкм, а минимальный 6 мкм (рис. 3.24). Форма пор – замкнутая, тупиковая, вытянутая. Микроструктура – конгломератная.



В составе образца №2 максимальный размер пор равен 60 мкм, а минимальный 10 мкм (рис. 3.25). Форма пор – замкнутая, округлая. Микроструктура – ячеистая.



Исследование микроструктуры образца №3 показало, что в составе керамического черепка размер пор имеет пределы: $d_{\max} = 30$ мкм, $d_{\min} = 4$ мкм (рис. 3.26). Микроструктура – ячеистая. Форма пор – замкнутая, вытянутая.

В составе керамического черепка №4 максимальный размер пор равен 180 мкм, а минимальный 6 мкм (рис. 3.27). Форма пор – замкнутая, тупиковая, вытянутая, округлая. Микроструктура – конгломератная.

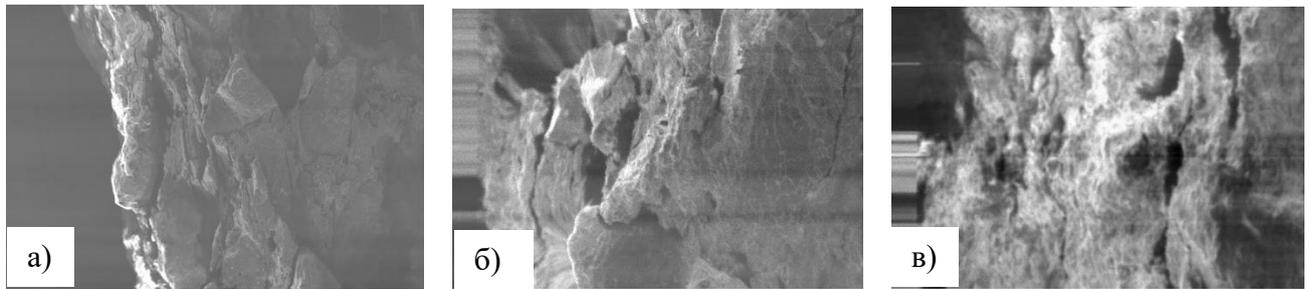


Рисунок 3.26 - РЭМ-фотографии образца №3: а –увеличение x50; б –увеличение x210; в –увеличение x500

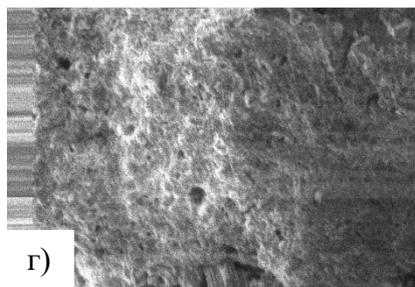
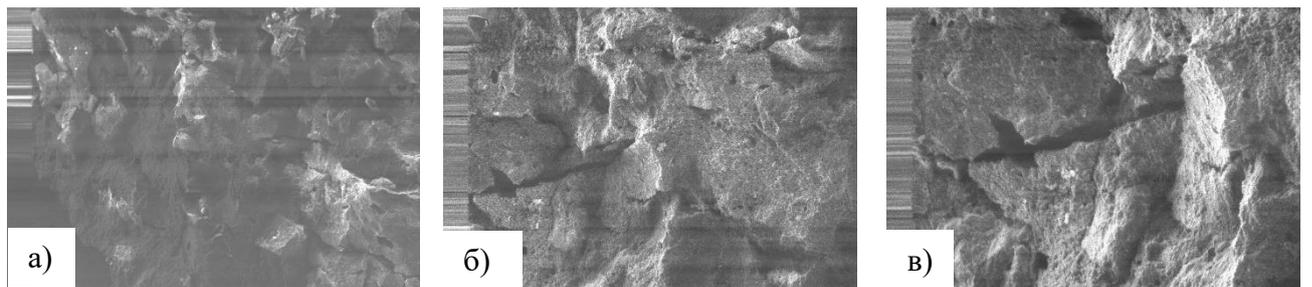


Рисунок 3.27 - РЭМ-фотографии образца №4:
а –увеличение x48; б –увеличение x103;
в –увеличение x200; г –увеличение x400

В составе керамического образца №5 максимальный размер пор равен 320 мкм, а минимальный 6 мкм (рис. 3.28). Микроструктура – ячеистая. Форма пор – замкнутая, вытянутая.

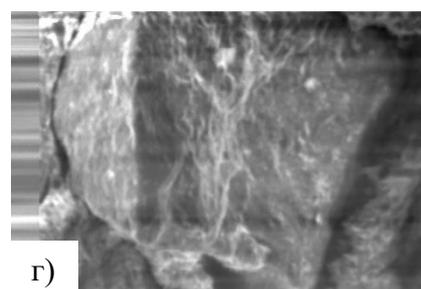
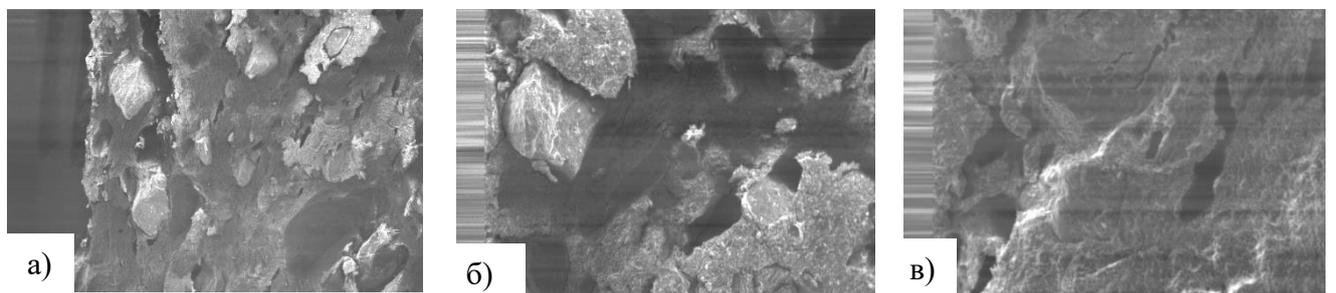


Рисунок 3.28 - РЭМ-фотографии образца №5:
а –увеличение x43; б –увеличение x110;
в –увеличение x220; г –увеличение x410

В составе керамического образца №6 максимальный размер пор равен 220 мкм, а минимальный 1 мкм (рис. 3.29). Микроструктура – ячеистая. Форма пор – замкнутая, вытянутая.

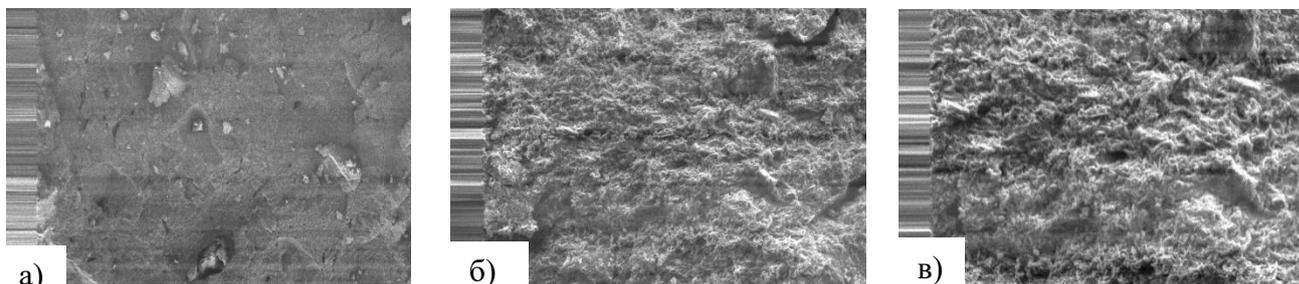


Рисунок 3.29 - РЭМ-фотографии образца №6: а –увеличение x48; б –увеличение x200; в –увеличение x300

В составе керамического образца №7: $d_{\max} = 54$ мкм, $d_{\min} = 6$ мкм (рис. 3.30). Форма пор – замкнутая, вытянутая, округлая. Микроструктура – конгломератная.

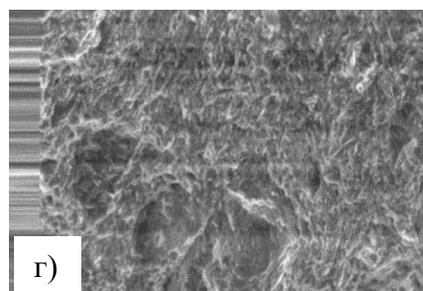
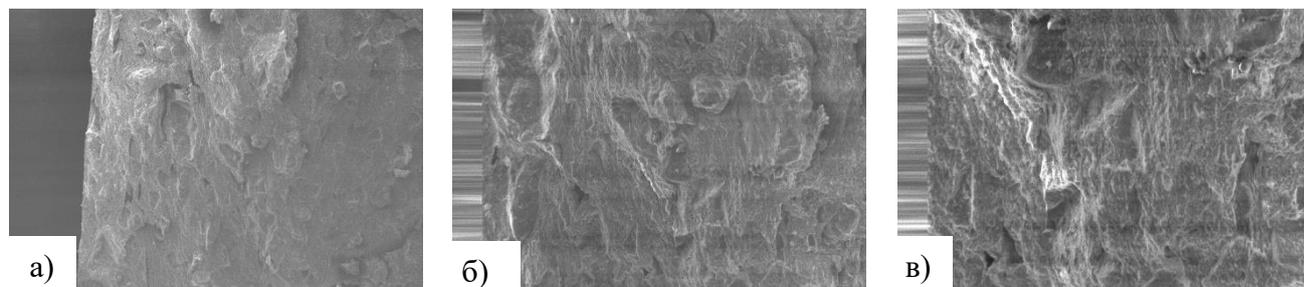


Рисунок 3.30 - РЭМ-фотографии образца №7: а –увеличение x40; б –увеличение x118; в –увеличение x220; г –увеличение x410

В керамике №8: максимальный размер пор равен 59 мкм, а минимальный 4 мкм (рис. 3.31). Форма пор – замкнутая, тупиковая, вытянутая, округлая. Микроструктура – конгломератная.

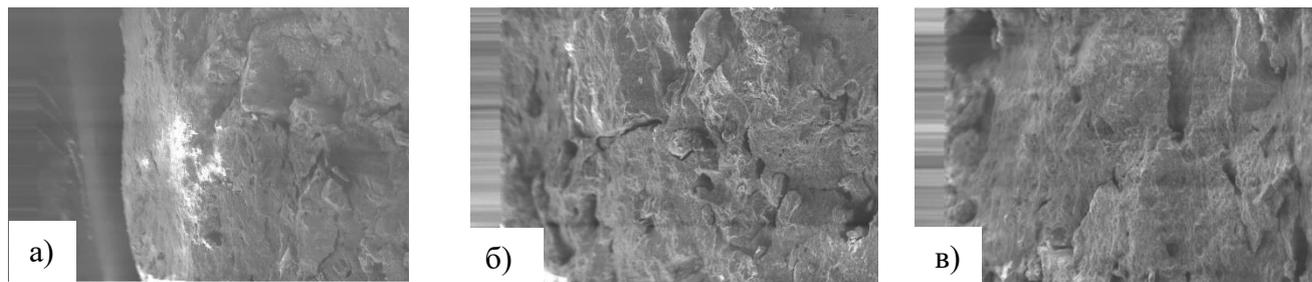


Рисунок 3.31 - РЭМ-фотографии образца №8: а –увеличение x48; б –увеличение x104; в –увеличение x210

У керамического образца №9 максимальный размер пор равен 10 мкм, а минимальный 5 мкм (рис. 3.32). Микроструктура – ячеистая. Форма пор – замкнутая, вытянутая.

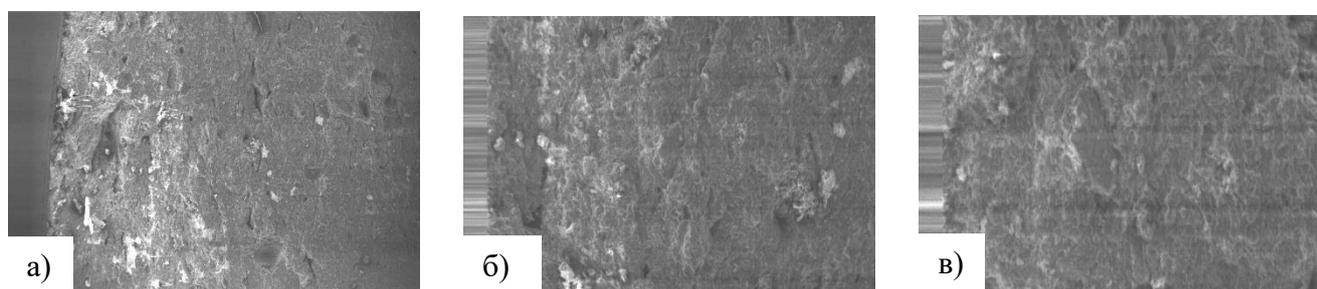


Рисунок 3.32 - РЭМ-фотографии образца №9: а –увеличение x43; б –увеличение x110; в –увеличение x210

Исследование микроструктуры образца №10 показало, что в составе керамического черепка размер пор имеет пределы: $d_{\max} = 150$ мкм, $d_{\min} = 25$ мкм (рис. 3.33). Форма пор – замкнутая, овальная. Микроструктура – конгломератная.

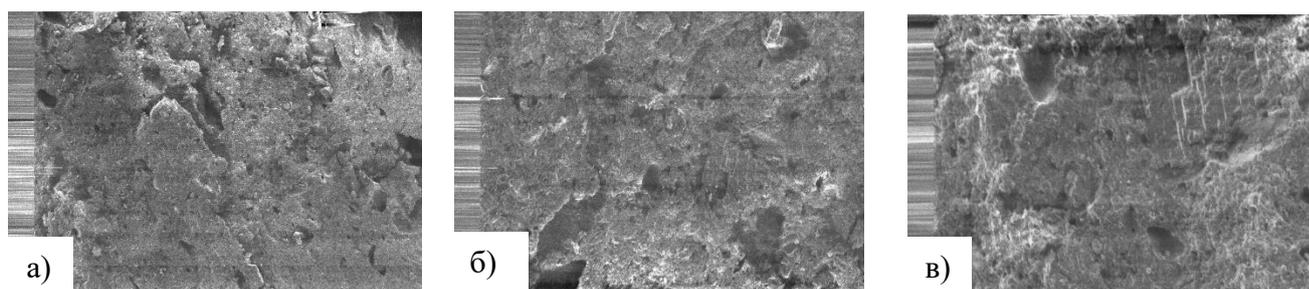


Рисунок 3.33 - РЭМ-фотографии образца №10: а –увеличение x46; б –увеличение x108; в –увеличение x210

Исследование микроструктуры образца №11 показало, что в составе керамического черепка размер пор имеет пределы: $d_{\max} = 130$ мкм, $d_{\min} = 5$ мкм (рис. 3.34). Форма пор – замкнутая, округлая. Микроструктура – ячеистая.

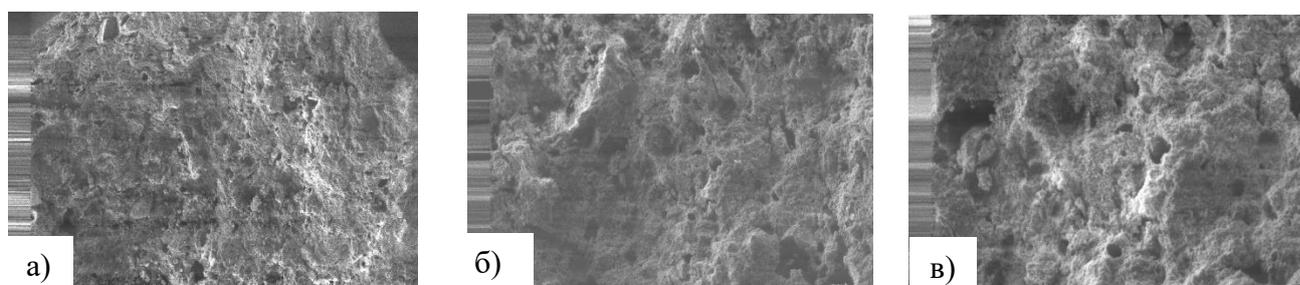


Рисунок 3.34 - РЭМ-фотографии образца №11: а –увеличение x48; б –увеличение x105; в –увеличение x200

У керамического черепка №12: $d_{\max} = 150$ мкм, $d_{\min} = 100$ мкм (рис. 3.35). Форма пор – замкнутая, тупиковая, вытянутая, округлая. Микроструктура – конгломератная.

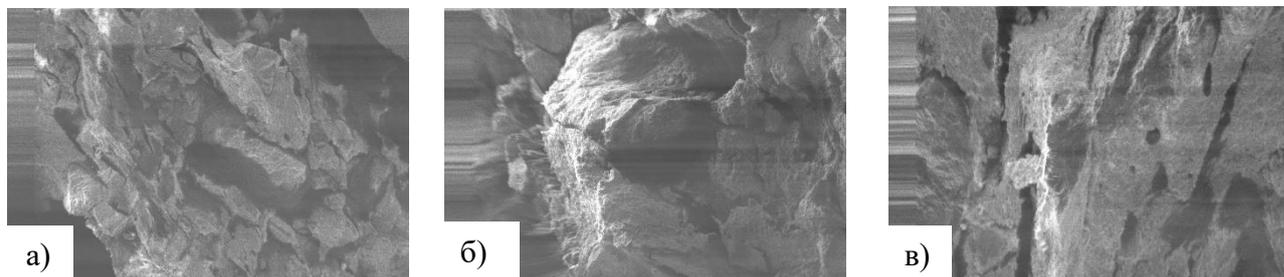


Рисунок 3.35 - РЭМ-фотографии образца №12: а –увеличение $\times 50$; б –увеличение $\times 100$; в –увеличение $\times 200$

В керамическом образце №13: $d_{\max} = 150$ мкм, $d_{\min} = 5$ мкм (рис. 3.36). Микроструктура – ячеистая. Форма пор – замкнутая, округлая.

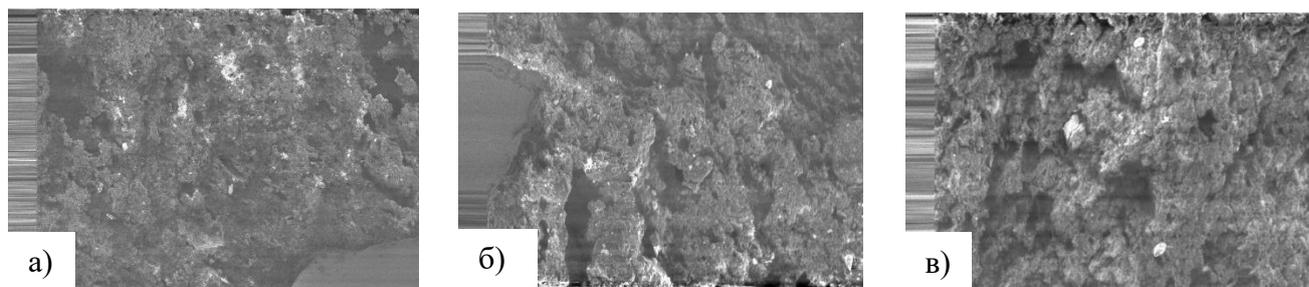


Рисунок 3.36 - РЭМ-фотографии образца №13: а –увеличение $\times 48$; б –увеличение $\times 103$; в –увеличение $\times 200$

Образец №14 имеет $d_{\max} = 150$ мкм, $d_{\min} = 23$ мкм (рис. 3.37). Форма пор – замкнутая, вытянутая, округлая. Микроструктура – волокнистая.

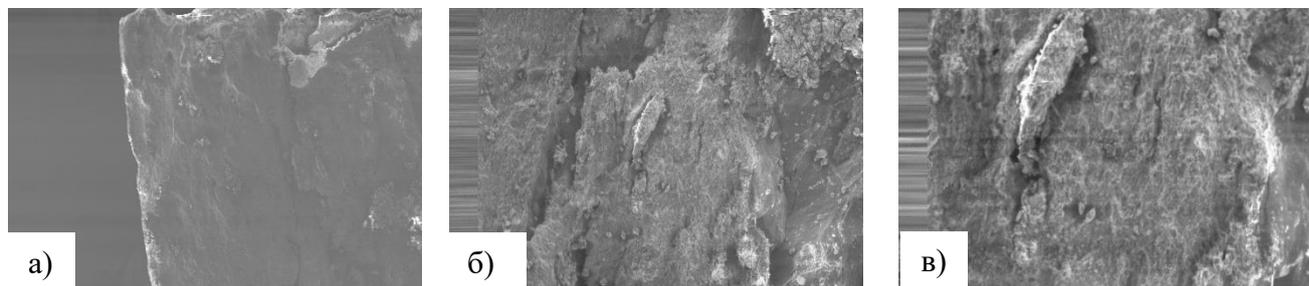


Рисунок 3.37 - РЭМ-фотографии образца №14: а –увеличение $\times 41$; б –увеличение $\times 100$; в –увеличение $\times 220$

В составе керамического образца №15 максимальный размер пор равен 500 мкм, а минимальный 50 мкм (рис. 3.38). Микроструктура – конгломератная. Форма пор – замкнутая, округлая.

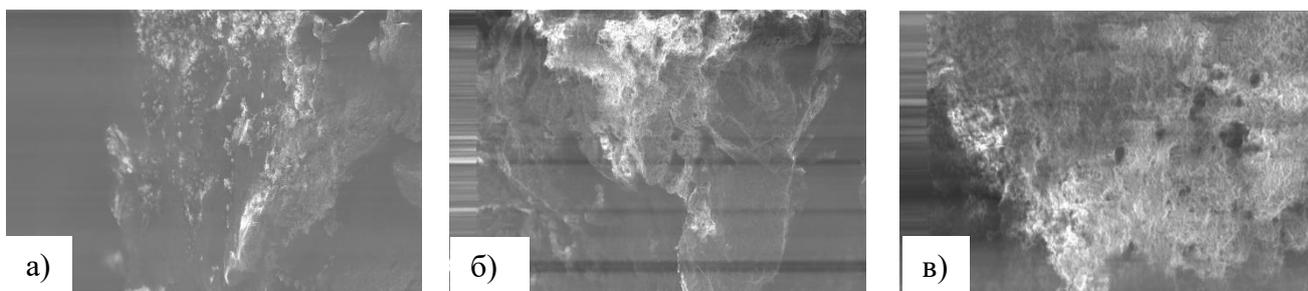


Рисунок 3.38 - РЭМ-фотографии образца №15: а –увеличение x46;
б –увеличение x108; в –увеличение x200

У черепка №16: $d_{\max} = 150$ мкм, $d_{\min} = 50$ мкм (рис. 3.39). Форма пор – замкнутая, вытянутая, округлая. Микроструктура – волокнистая.

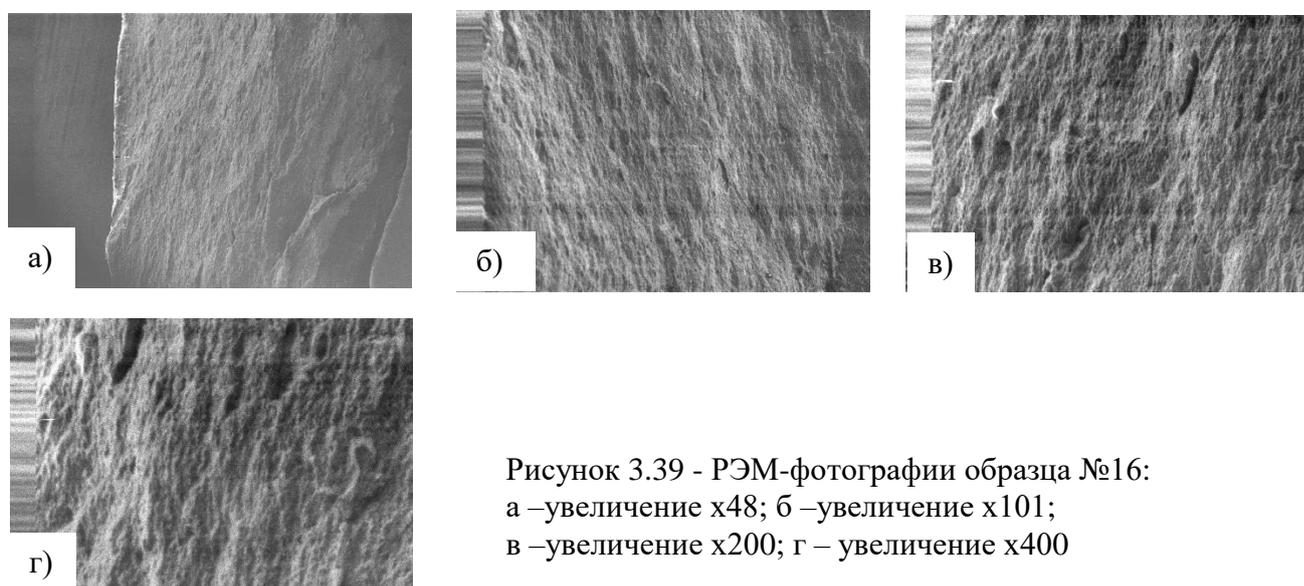


Рисунок 3.39 - РЭМ-фотографии образца №16:
а –увеличение x48; б –увеличение x101;
в –увеличение x200; г –увеличение x400

Керамические изделия Чуйской долины XV-XVI вв. представлены двумя образцами №17 и №18. У черепка №17: $d_{\max} = 100$ мкм, $d_{\min} = 5$ мкм (рис. 3.40). У черепка №9: $d_{\max} = 200$ мкм, $d_{\min} = 5$ мкм (рис. 3.41). Оба образца имеют форму пор замкнутые, округлые, а микроструктуру – ячеистую.

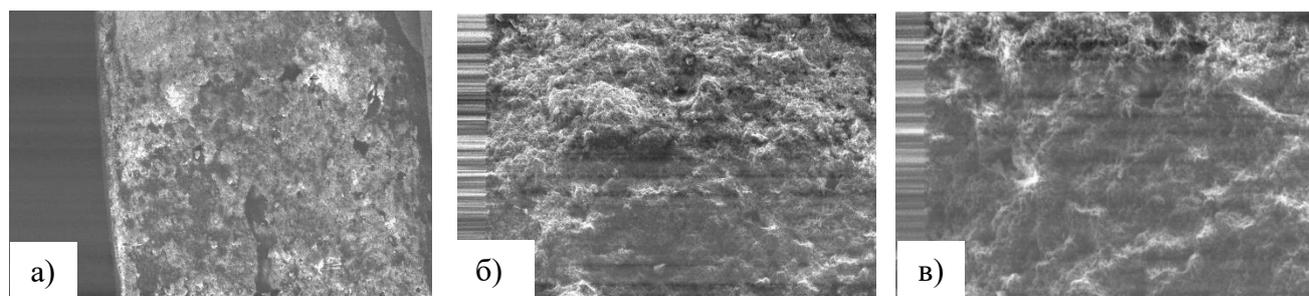


Рисунок 3.40 - РЭМ-фотографии образца №17: а –увеличение x44;
б –увеличение x105; в –увеличение x200

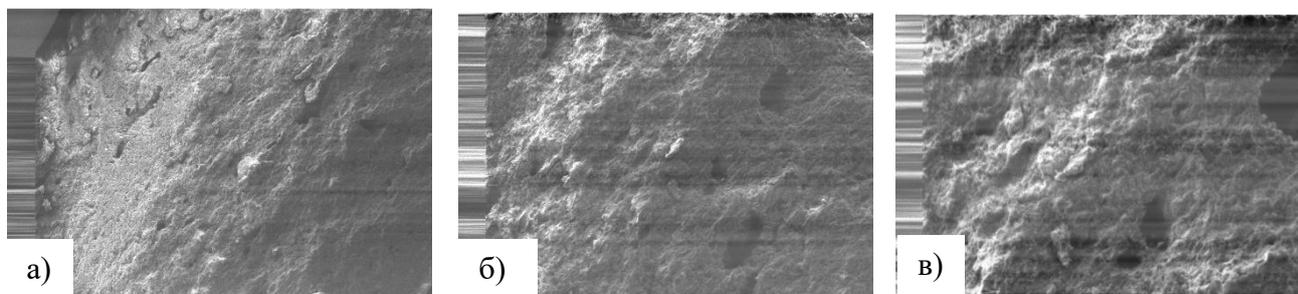


Рисунок 3.41 - РЭМ-фотографии образца №18: а –увеличение x48; б –увеличение x100; в –увеличение x200

Таким образом, с помощью анализа РЭМ-изображений по малым размерам образцов быстро и надежно установлен тип микроструктуры, выявлены особенности микроструктуры.

3.6. Количественный анализ микроструктуры по результатам растровой электронной микроскопии

В параграфе проведен количественный анализ по РЭМ-фотографиям по 4 увеличениям для образцов №1 (рис. 3.24), №4 (рис. 3.27), №5 (рис. 3.28), №7 (рис. 3.30), №16 (рис. 3.39). Бралось увеличения близкие к $\times 50$, $\times 100$, $\times 200$ и $\times 400$ (таблица 3.5). По информации о разрешении при записи файла изображения (96 dpi) и соотношения размеров монитора 16:11 были определены физические размеры, которые составили $272000 \text{ мкм} \times 187000 \text{ мкм}$ при увеличении $\times 1$.

Таблица 3.5 - Линейные размеры пикселей при различном увеличении

РЭМ увели- чения	Образец №1		Образец №4		Образец №5		Образец №7		Образец №16	
	Размер пиксела, мкм									
	Lx	Ly	Lx	Ly	Lx	Ly	Lx	Ly	Lx	Ly
48	5.534	5.534	5.534	5.534	6.641	6.641	6.177	6.177	5.534	5.534
102	2.604	2.604	2.579	2.579	2.251	2.251	2.415	2.415	2.630	2.630
200	1.328	1.328	1.328	1.328	1.207	1.207	1.207	1.207	1.328	1.328
400	0.664	0.664	0.664	0.664	0.648	0.648	0.648	0.648	0.664	0.664

В сводной таблице результатов, в порядке следования строк, приведены следующие данные: имя образца, количество пор; значение общей пористости (микропористость иногда она близка к реальной, но не всегда); величина общей площади пор; величина общего периметра пор; средние значения эквивалентного диаметра, площади и периметра пор и их дисперсий; значение удельной поверхности; значения увеличений; линейные размеры пикселей по вертикали и горизонтали при каждом увеличении; количество отснятых участков при каждом увеличении. В таблице 3.6 приведены результаты анализа микроструктуры.

Таблица 3.6 - Итоговые результаты РЭМ-изображений

№ образца	1	4	5	7	16
Периодизация, век	II тыс. до н.э.	II-III вв.	VIII-IX вв.	X-XII вв.	XI-XIII вв.
Число пор	16910	26861	9349	35450	21809
Пористость, %	12.9533	11.8197	6.2727	6.9615	15.3933
Общая площадь пор, мкм ²	2635737.637	2447053.494	1850943.548	1557879.608	1451944.795
Общий периметр пор, мкм	459705.9277	872498.5576	1000764.145	1129172.4445	1154147.591
Средний диаметр, мкм/ дисперсия	8.6978/ 122.8055	6.9911/ 67.1172	9.0623/ 169.9542	5.8208/ 22.0721	8.9728/ 70.8099
Средняя площадь, мкм ² / дисперсия	155.8686/ 968691.3403	91.1006/ 577851.8407	197.9831/ 8509141.993	43.9458/ 102370.9673	118.8475/ 238306.2264
Средний периметр, мкм/ дисперсия	51.5966/ 8599.8480	37.2571/ 3946.4572	49.1717/ 12677.1904	31.8525/ 1195.0788	50.2154/ 4457.4667
Удельная поверхность, 1/мкм	0.0156	0.0433	0.0487	0.0514	0.0690
D _{min} , мкм	3.5146	3.4288	3.4289	3.5146	3.5146
D _{max} , мкм	266.6096	187.4236	552.3108	258.0634	173.9455

По результатам анализа построены:

- *Гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам.* Поскольку анализ проводился по серии разномасштабных РЭМ-изображений, то по горизонтальной оси значения эквивалентных диаметров выводятся в логарифмическом масштабе. По вертикали на всех гистограммах распределения откладывается плотность вероятности ($N_i / (N \cdot l)$), статистический параметр, равный отношению количества пор в исследуемом интервале (N_i) к общему количеству анализируемых пор (N) и к длине интервала (l).

- *Гистограмма распределения пор по площадям.* Значение левой границы интервала на данной гистограмме и значение левой границы в гистограмме распределения по эквивалентным диаметрам связаны соотношением $S = \pi \cdot d^2/4$.
- *Гистограмма распределения по суммарным площадям.* Выявляются различные категории пор. Категории пор, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема, проявляются на гистограмме в виде нескольких локальных максимумов.
- *Гистограмма распределения по фактору формы.* На горизонтальной оси выводятся данные в нормальном масштабе.

Эквивалентный диаметр равен диаметру эквивалентного круга площадью S , равной площади изучаемой поры:

$$d = \sqrt{4S/\pi} \quad (5)$$

Общая пористость образца определена по формуле:

$$n = S/S_{fr} \quad (6)$$

где S_{fr} – размер кадра, полученный при первом увеличении.

Коэффициент формы определен по формуле:

$$K_f = a/b, \quad (7)$$

где a и b – соответственно большая и малая оси эллипса, вписанного в контуры исследуемого элемента, который спроецирован на плоскость максимальной проекции. Коэффициент формы варьируется от 1,00 для элементов с изометричной формой до 0,01 для элементов с сильно вытянутой формой.

Рассмотрим результаты количественного анализа микроструктуры образца №1, которые приведены на рисунке 3.42. Согласно данным анализа по РЭМ-изображениям, пористость равна 12,95%, а удельная поверхность – 0,0156 мкм⁻¹. В поровом пространстве присутствуют три категории пор (рис. 3.42,а). Это мелкие (D_1) и крупные (D_2) микропоры, а также макропоры (D_3).

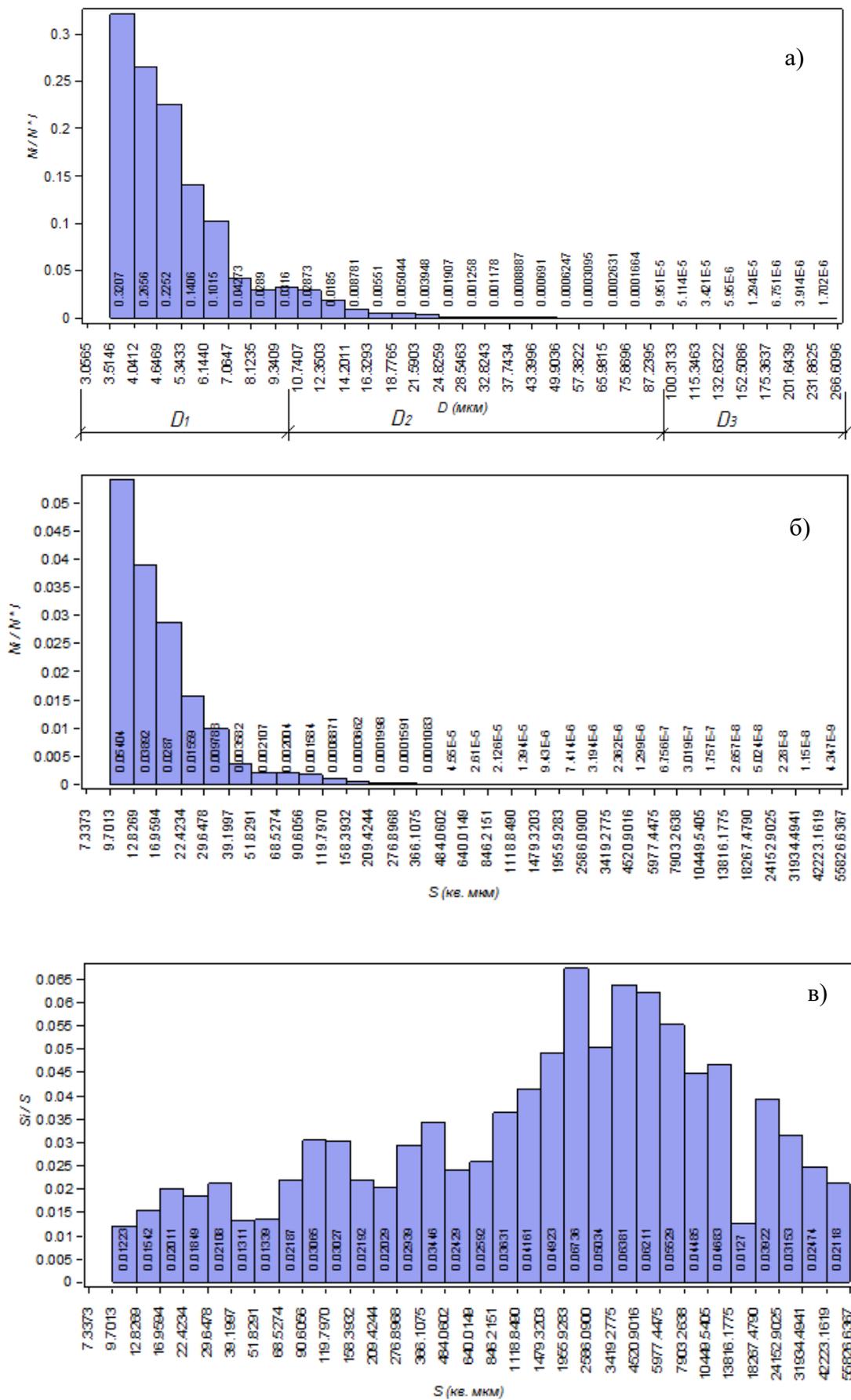


Рисунок 3.42 - Результаты количественного анализа микроструктуры образца №1: а – гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам; б – гистограмма распределения по площадям; в – гистограмма распределения по суммарным площадям; г – гистограмма распределения по фактору формы

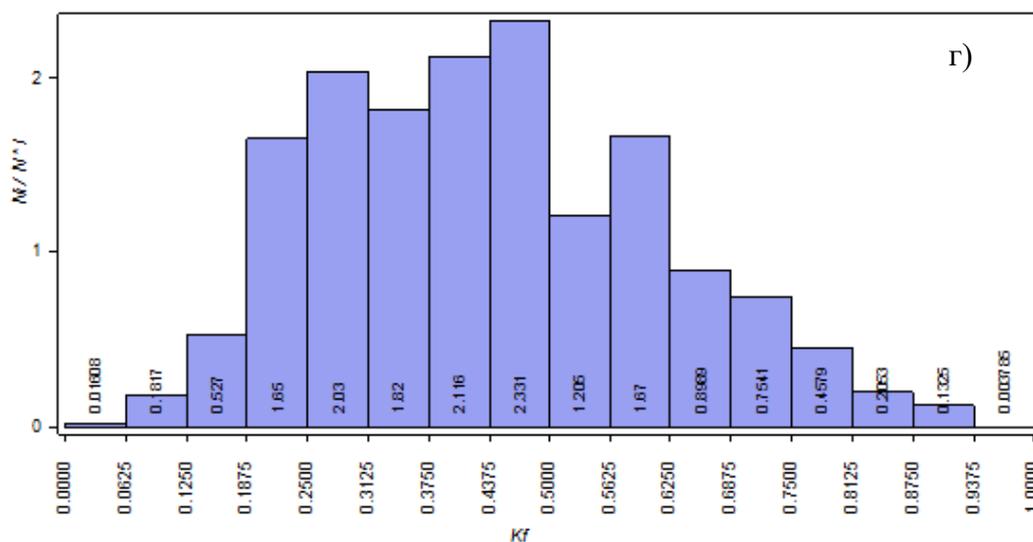


Рисунок 3.42, стр. 77

Мелкие микропоры категории D_1 наиболее многочисленны в микроструктуре. Они имеют анизометрическую сильно вытянутую форму, а средний эквивалентный диаметр составляет 5,81 мкм. Несмотря на их большое количество в поровом пространстве вклад в общую пористость незначителен из-за малого размера и достигает до 14%. Крупные микропоры (D_2) анизометрической формы со средним эквивалентным диаметром 37,35 мкм находятся в малом количестве, но являются основной частью пор. Суммарный вклад достигает до 59% от общей пористости. Меньший вклад в поровое пространство вносят макропоры (D_3). Они имеют изометричную форму со средним эквивалентным диаметром 172,03 мкм, которые составляют до 27% от общей пористости.

По гистограмме распределения по суммарным площадям (рис. 3.42,в) выявлены различные категории пор. Категории пор проявляются в виде нескольких локальных максимумов на гистограмме, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема.

На гистограмме распределения по фактору формы выявлены различные формы пор (рис. 3.42,г). Преобладают поры эллиптической формы ($K_f=0,3-0,6$), далее поры округлой формы ($K_f=0,6-1,0$), незначительны щелевидные ($K_f=0-0,3$).

Рассмотрим результаты количественного анализа микроструктуры образца №4, которые приведены на рисунке 3.43. Согласно данным анализа по РЭМ-изображениям, пористость равна 11,82%, а удельная поверхность – 0,0433 мкм⁻¹.

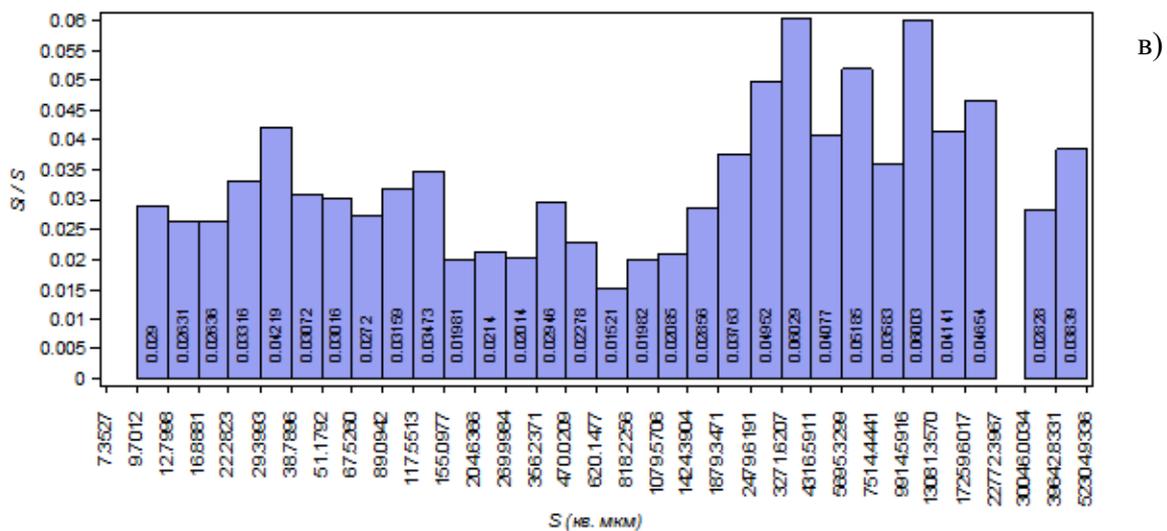
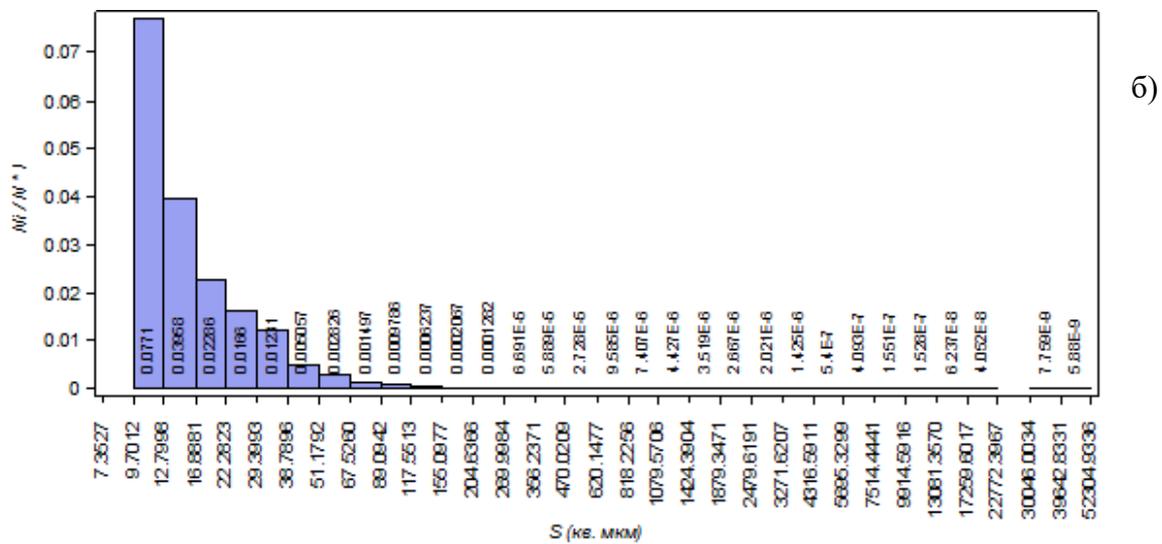
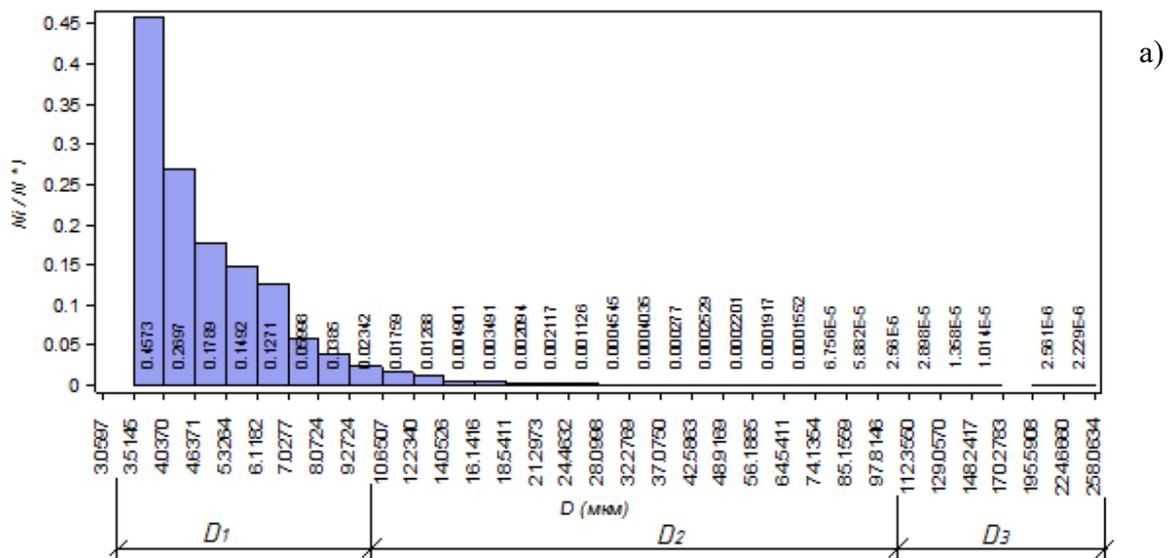


Рисунок 3.43 – Результаты количественного анализа микроструктуры образца №4: а – гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам; б – гистограмма распределения по площадям; в – гистограмма распределения по суммарным площадям; г – гистограмма распределения по фактору формы

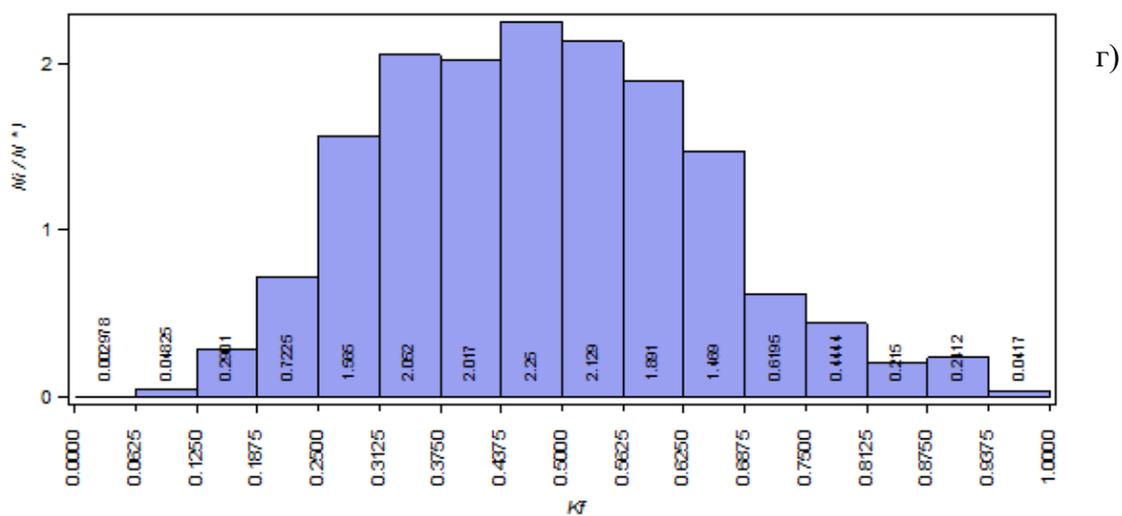


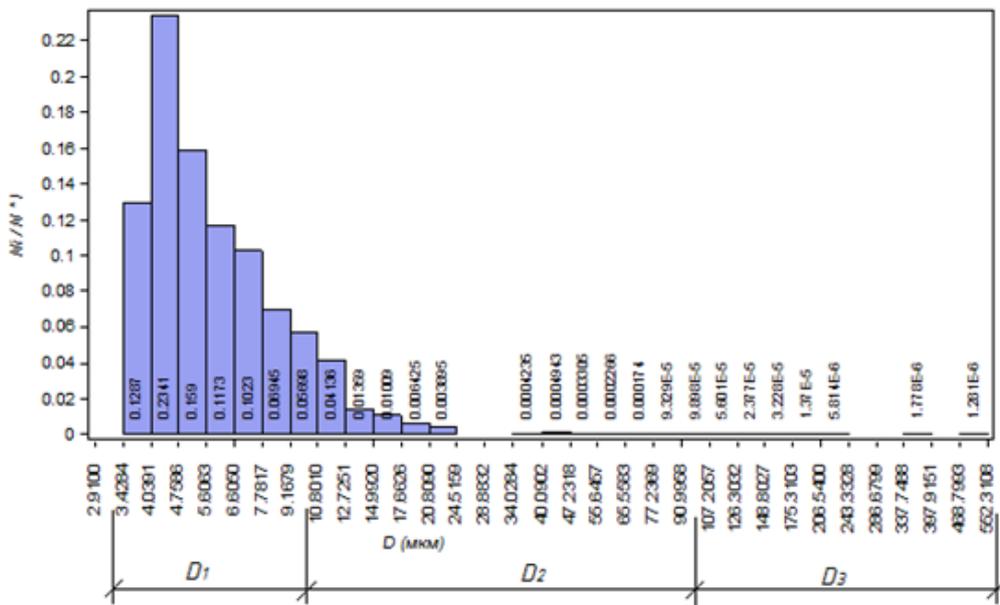
Рисунок 3.43, стр. 79

В поровом пространстве присутствуют три категории пор (рис. 3.43,а). Это мелкие (D_1) и крупные (D_2) микропоры, а также макропоры (D_3). Мелкие микропоры категории D_1 наиболее многочисленны в микроструктуре. Они имеют анизометрическую сильно вытянутую форму, а средний эквивалентный диаметр составляет 6,39 мкм. Несмотря на большое количество их в поровом пространстве вклад в общую пористость незначителен из-за малого размера и составляет около 25%. Аналогичный вклад в поровое пространство вносят макропоры (D_3) хотя содержатся в меньшем количестве. Они имеют изометричную форму со средним эквивалентным диаметром 185,21 мкм и составляют до 25% от общей пористости. Крупные микропоры (D_2) анизометрической формы со средним эквивалентным диаметром 54,23 мкм составляют основную часть порового пространства. Суммарный вклад достигает до 50% от общей пористости.

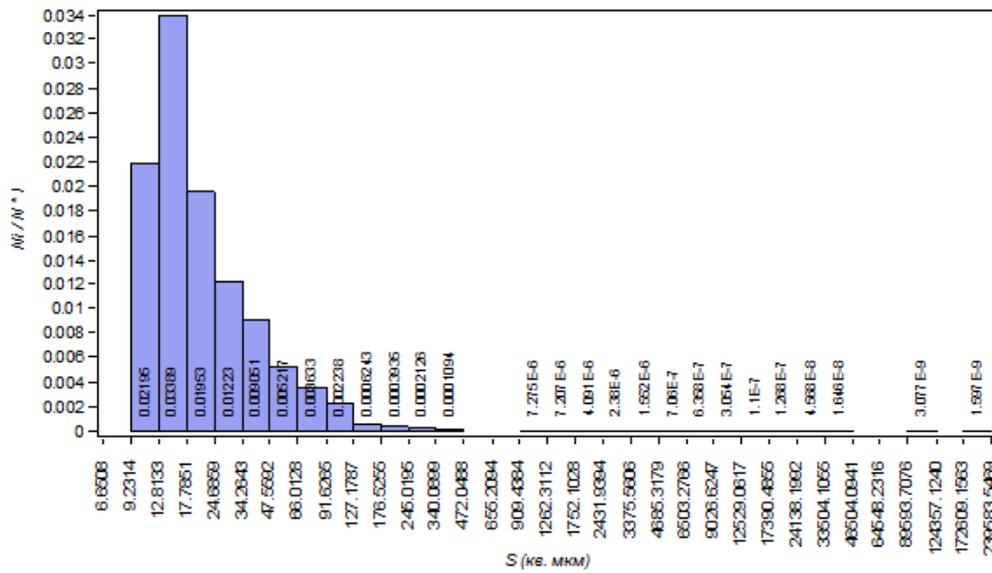
На гистограмме распределения по суммарным площадям (рис. 3.43,в) выявлены различные категории пор. Категории пор, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема, проявляются в виде нескольких локальных максимумов на гистограмме.

На гистограмме распределения по фактору формы выявлены различные формы пор (рис. 3.43,г). Преобладают поры эллиптической формы ($K_f=0,3-0,6$), далее поры округлой ($K_f=0,6-1,0$) и щелевидной форм ($K_f=0-0,3$).

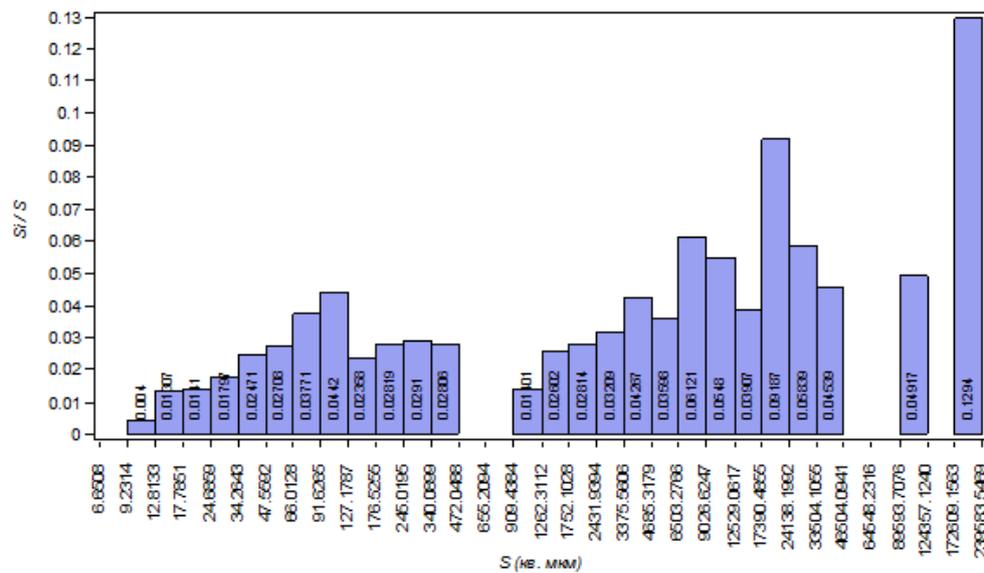
Рассмотрим результаты количественного анализа микроструктуры образца №5, которые приведены на рисунке 3.44.



a)



б)



в)

Рисунок 3.44 – Результаты количественного анализа микроструктуры образца №5: а – гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам; б – гистограмма распределения по площадям; в – гистограмма распределения по суммарным площадям; г – гистограмма распределения по фактору формы

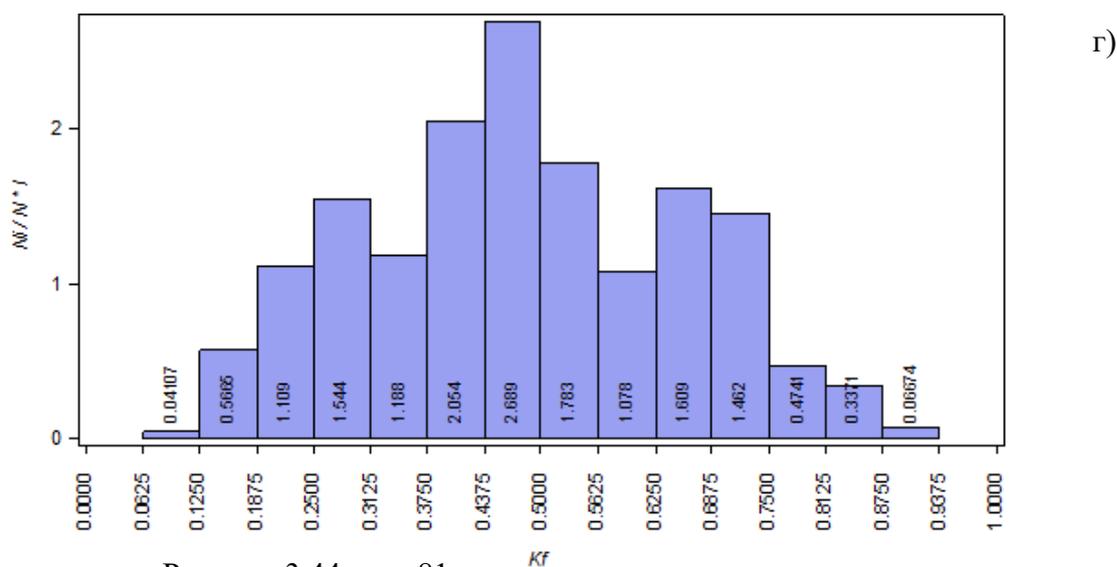


Рисунок 3.44, стр. 81

Согласно данным анализа по РЭМ-изображениям, пористость равна 6,27%, а удельная поверхность – 0,0487 мкм⁻¹. В поровом пространстве присутствуют три категории пор (рис. 3.44,а). Это мелкие (D₁) и крупные (D₂) микропоры, а также макропоры (D₃). Мелкие микропоры категории D₁ наиболее многочисленны в микроструктуре. Они имеют анизометрическую сильно вытянутую форму, а средний эквивалентный диаметр составляет 6,3 мкм. Несмотря на их большое количество в поровом пространстве, вклад в общую пористость незначителен из-за малого размера и составляет около 14%. Крупные микропоры (D₂) анизометрической формы со средним эквивалентным диаметром 50,9 мкм вносят небольшой вклад в поровое пространство. Суммарный вклад достигает до 22% от общей пористости. Основную часть порового пространства составляют макропоры (D₃), хотя содержатся в меньшем количестве. Они имеют изометричную форму, а средний эквивалентный диаметр составляет 329,76 мкм. Суммарный вклад достигает до 64% от общей пористости.

По гистограмме распределения по суммарным площадям (рис. 3.44,в) выявлены различные категории пор. Категории пор проявляются в виде нескольких локальных максимумов на гистограмме, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема. На гистограмме распределения по фактору формы выявлены различные формы пор (рис. 3.44,г). Преобладают поры эллиптической формы (K_f=0,3-0,6), далее поры округлой (K_f=0,6-1,0) и щелевидной форм (K_f=0-0,3).

Рассмотрим результаты количественного анализа микроструктуры образца №7, которые приведены на рисунке 3.45. Согласно данным анализа по РЭМ-изображениям, пористость равна 11,82%, а удельная поверхность – 0,0514 мкм⁻¹. В поровом пространстве присутствуют три категории пор (рис. 3.45,а). Это мелкие (D_1) и крупные (D_2) микропоры, а также макропоры (D_3). Несмотря на преобладающее количество в поровом пространстве мелких и крупных микропор из-за малого размера их вклад в общую пористость незначителен и составляет около 25 и 30% соответственно. Мелкие микропоры категории D_1 имеют анизометрическую сильно вытянутую форму, средний эквивалентный диаметр которых равен 6,39 мкм. Макропоры (D_3) представлены изометричной формой со средним эквивалентным диаметром 185,21 мкм. Основную часть порового пространства составляют крупные микропоры (D_2), хотя они содержатся в меньшем количестве и составляют до 45% от общей пористости. Они имеют анизометрическую форму со средним эквивалентным диаметром 54,24 мкм.

На гистограмме распределения по суммарным площадям (рис. 3.45,в) выявлены различные категории пор, которые проявляются в виде нескольких локальных максимумов на гистограмме, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема. На гистограмме распределения по фактору формы выявлены различные формы пор (рис. 3.45,г). Преобладают поры эллиптической формы ($K_f=0,3-0,6$), далее поры округлой формы ($K_f=0,6-1,0$), затем щелевидной ($K_f=0-0,3$).

Рассмотрим результаты количественного анализа микроструктуры образца №16, которые приведены на рисунке 3.46. Согласно данным анализа по РЭМ-изображениям, пористость равна 15,39%, а удельная поверхность – 0,0690 мкм⁻¹. В поровом пространстве присутствуют три категории пор (рис. 3.46,а). Это мелкие (D_1) и крупные (D_2) микропоры, а также макропоры (D_3). Мелкие микропоры категории D_1 наиболее многочисленны в микроструктуре. Они имеют анизометрическую сильно вытянутую форму, а средний эквивалентный диаметр составляет 6,57 мкм. Несмотря на их большое количество в поровом пространстве вклад в общую пористость незначителен из-за малого размера и достигает до 11%.

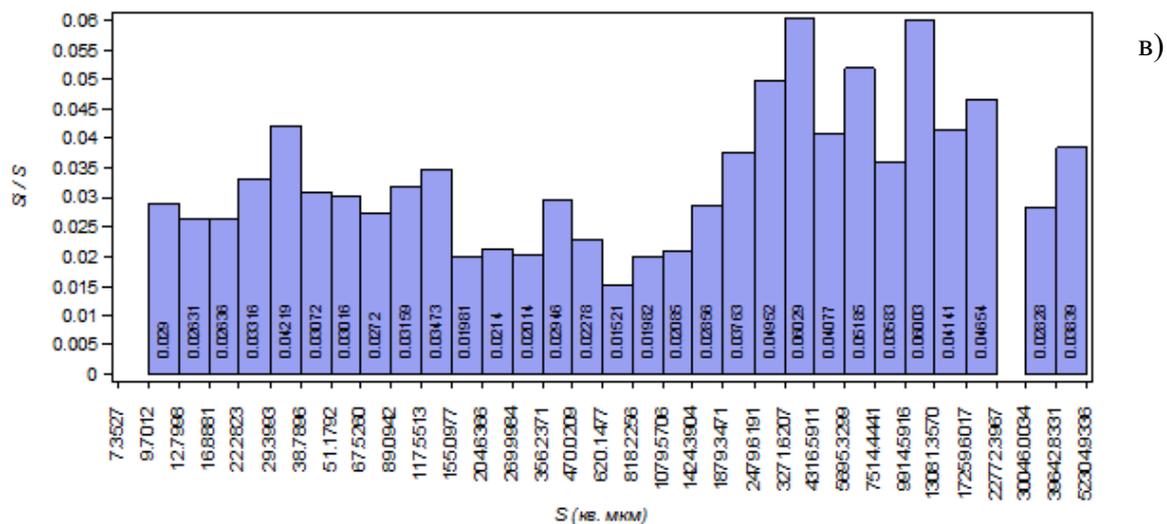
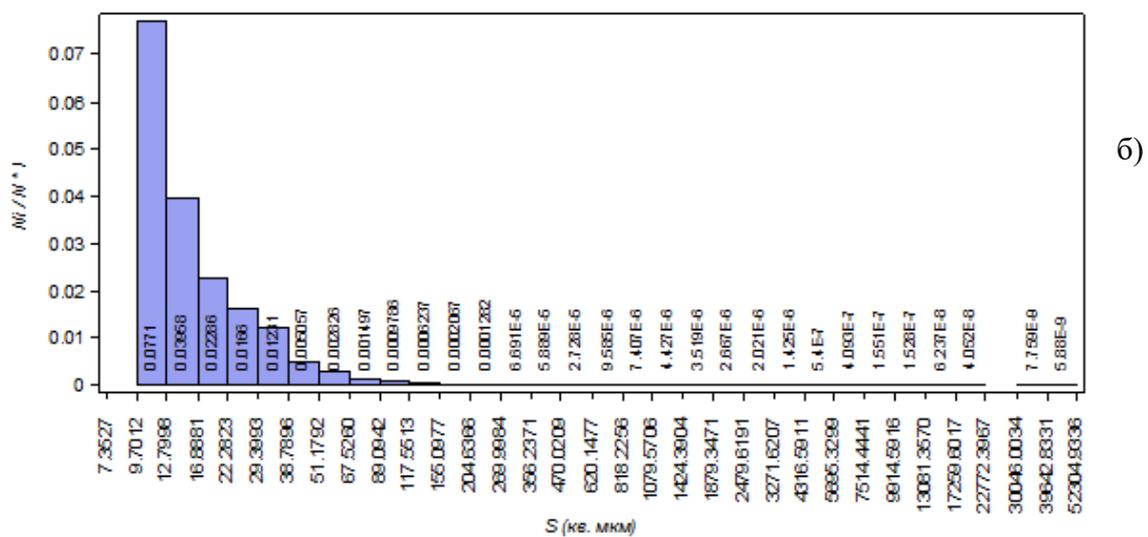
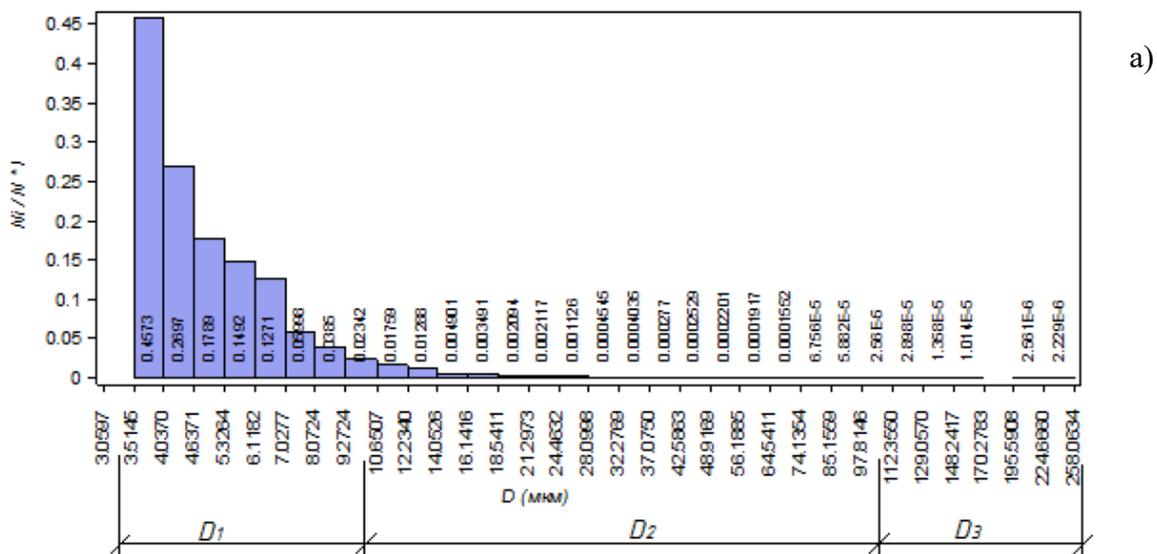


Рисунок 3.45 – Результаты количественного анализа микроструктуры образца №7: а – гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам; б – гистограмма распределения по площадям; в – гистограмма распределения по суммарным площадям; г – гистограмма распределения по фактору формы

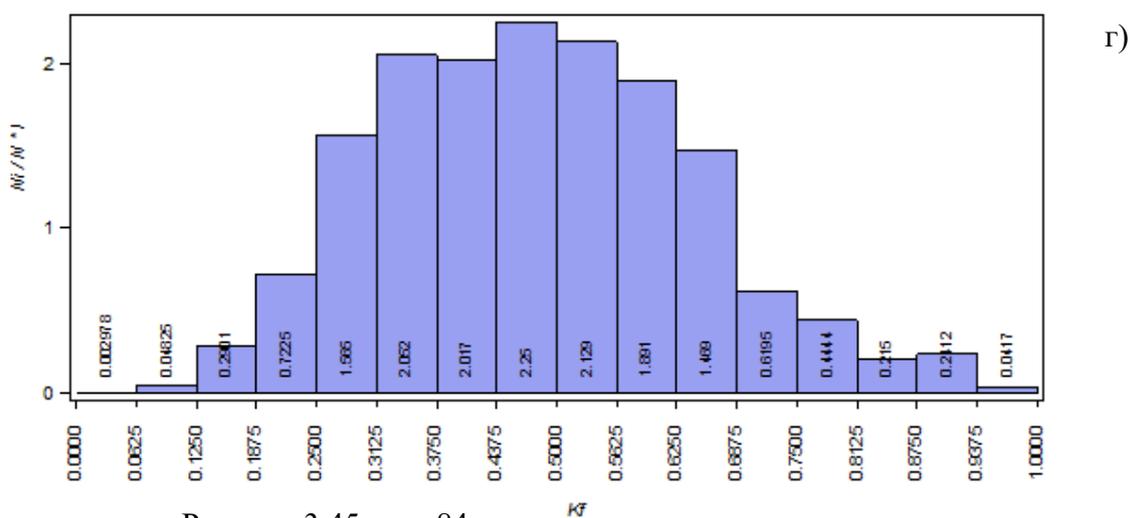


Рисунок 3.45, стр. 84

Крупные микропоры (D_2) анизотрической формы со средним эквивалентным диаметром 51,81 мкм находятся в малом количестве, но являются основной частью пор. Суммарный вклад достигает до 55% от общей пористости. Меньший вклад в поровое пространство вносят макропоры (D_3). Они имеют изометричную форму со средним эквивалентным диаметром 139,54 мкм, которые составляют до 34% от общей пористости.

На гистограмме распределения по суммарным площадям (рис. 3.46,в) выявлены различные категории пор, которые проявляются в виде нескольких локальных максимумов на гистограмме, указывающие на наличие нескольких групп пор определенного объема. На гистограмме распределения по фактору формы выявлены различные формы пор (рис. 3.46,г). Преобладают поры эллиптической формы ($K_f=0,3-0,6$), далее поры округлой формы ($K_f=0,6-1,0$), затем щелевидной ($K_f=0-0,3$).

Таким образом, по РЭМ-изображениям определены количественные показатели микроструктуры. Согласно результатам, выявлено, что в образцах №4, 5, 7, 16 преобладают микропоры, которые указывают на применение механической обработки сырья, например, лощения.

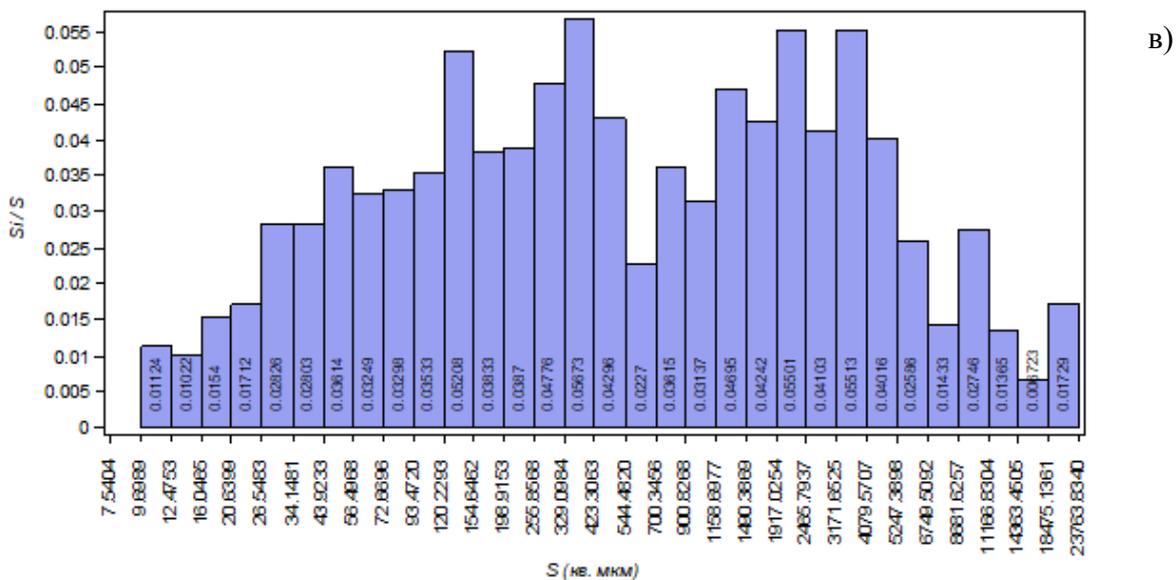
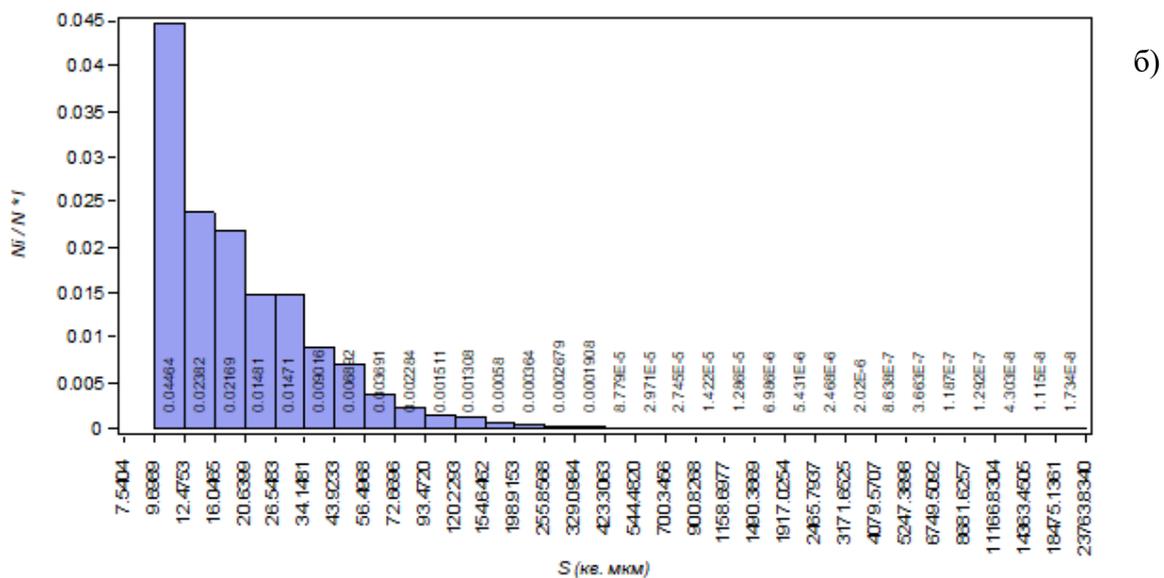
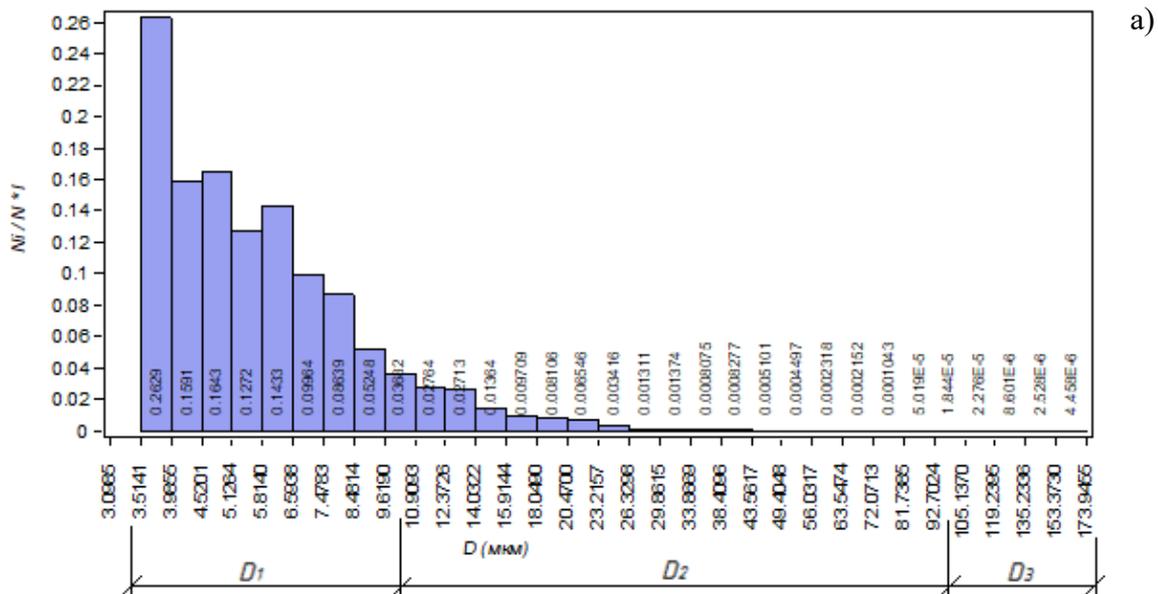


Рисунок 3.46 – Результаты количественного анализа микроструктуры образца №16: а – гистограмма распределения пор по эквивалентным диаметрам; б – гистограмма распределения по площадям; в – гистограмма распределения по суммарным площадям; г – гистограмма распределения по фактору формы

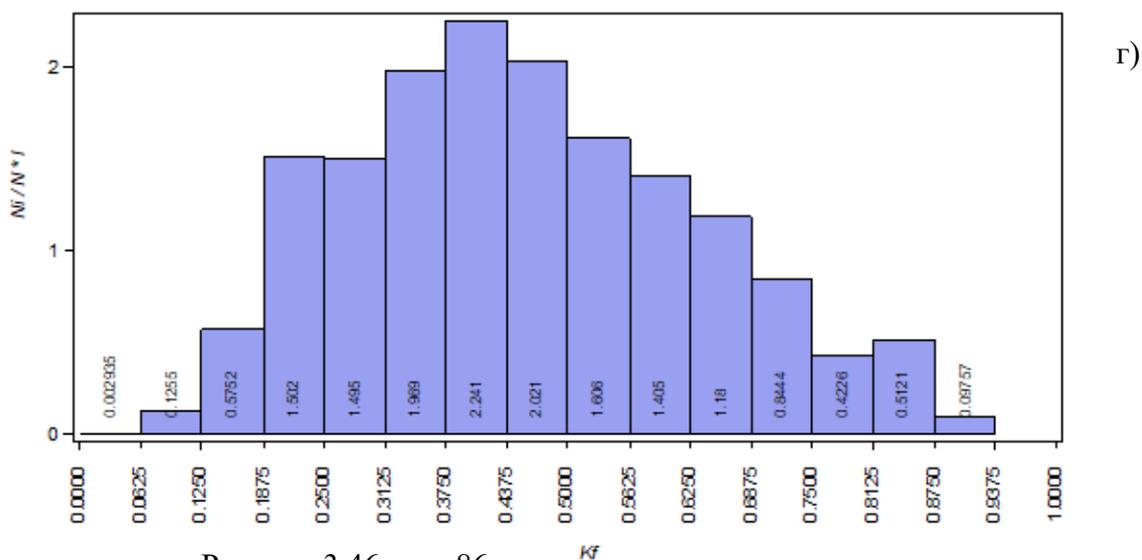


Рисунок 3.46, стр. 86

3.7. Микроскопическое исследование

Микроскопическое исследование образцов кыргызских изделий позволило в общих чертах определить минералогические особенности глиняных масс, характер их обработки и приготовления, а также характер среды. Характер среды при обжиге керамических изделий установлен по окраске. Зоны, находившиеся в восстановительной среде, включают окислованную органику и сажистый углерод и имеют черную или темно-серую окраску (рис. 3.47). Участки черепка, находившиеся в окислительной среде, приобретают кирпично-красный цвет из-за кристаллизации гематита (рис. 3.54) [58, с. 113].

Характер обработки и приготовления керамических изделий установлен по ориентировке пор и частиц пластического материала в глиняной массе образцов. Так, фрагменты изделий, выполненные на кругу, имеют вытянутые, упорядоченные поры – следы вращательного движения глиняной массы. Во фрагментах изделий, выполненных от руки, поры не имеют ориентировки, не упорядочены.

Ниже приведены данные по исследованию керамических изделий.

Керамический черепок образца №1 характеризуется грубообломочной структурой (рис. 3.47). Обломки относительно крупные размером от 0,5 до 2,5 мм.

Минеральный состав: кальцит, разновидности полевого шпата, кварц. Обломков много – 65-70%. Форма зерен неправильная, угловатая. Границы зазубренные. Цементирующая масса грубая и пористая. Цвет распределен полосами: полоса черная сменяется полосой терракотово-желтой, что указывает на восстановительно-окислительную среду при обжиге. Поры распределены неравномерно по площади черепка, что указывает на формовку от руки. Они достаточно крупные, размером до первых долей сантиметра.

Следовательно, образец №1 готовился из относительно малопластичных глинистых пород – местных лессовидных суглинков, которые содержат кварцевый песок в виде естественной примеси. В керамике такого типа содержание Al_2O_3 (15-18%) и Fe_2O_5 (обычно 3-4%) низкое, содержание же Na_2O+K_2O (до 6-7%) и CaO (6-7%) повышенное (табл. 3.4).

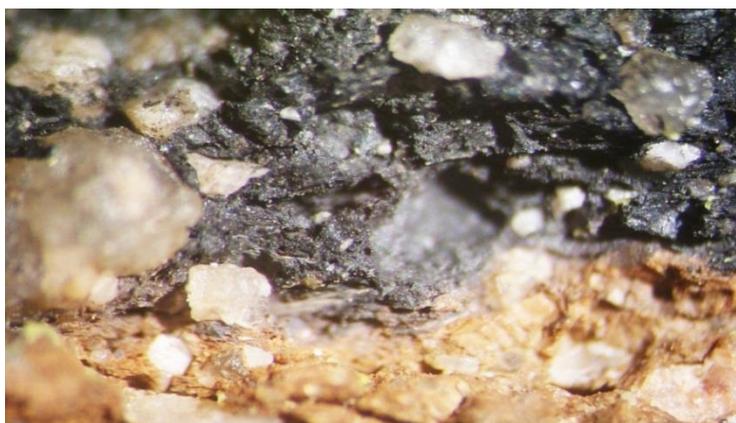


Рисунок 3.47 -
Микроструктура образца №1

Тонкозернистый керамический черепок образца №2 состоит из обломочного материала (размер 0,5-1 мм), состоящего из полевых шпатов (микроклин), слюды (мусковит, биотит), лимонита. Обломки изометричной формы, окатанные. Возможно применены две техники формовки: гончарный ручной круг и формование от руки. Цемент светло-коричневый, тонкочешуйчатый, лимонитизированный (рис. 3.48).

Следовательно, в качестве исходного сырья образца №2 применяли пластичные глины. Такие глины нуждаются в отошителях. В качестве отошителя чаще всего использовали природные материалы без специальной обработки (речной песок) и измельченные осадочные или метаморфические породы (песчаники и сланцы). Наряду с этим применялись и специально приготовленные

добавки в виде измельченного шамота. Изредка керамическая масса готовилась смешиванием двух глин [58, с. 114].



Рисунок 3.48 -
Микроструктура образца №2

В керамических изделиях такого типа содержание Al_2O_3 (26-27%), MgO (1-2%) и Fe_2O_5 (10-11%) повышенное, содержание же K_2O (до 3-4%) и CaO (до 1%) низкое, а Na_2O – отсутствует (табл. 3.4). Повышенное содержание Al_2O_3 в глине указывает на большую пластичность, а также ее огнеупорность, так как с увеличением Al_2O_3 увеличивается огнеупорность глины. Коричневая окраска черепка указывает на окислительную среду при обжиге.

Керамический черепок образца №3 грубообломочный с размером зерен 0,5-2,5 мм. Минералогический состав: кварц, полевые шпаты, которые составляют 40-45% от объема. Обломки угловатые, неокатанные, реже слабо окатанные. Границы извилистые. Распределение обломков в цементирующей массе хаотичное. Цементирующая масса грубо чешуйчатая, пористая, слабо ожелезненная, карбонатизированная. Поры удлиненной формы вытянуты в одном направлении, что свидетельствует о формовании на гончарном круге. Цвет цемента светло-коричневый, что указывает на слабо окислительную среду при обжиге. Минеральный состав по большей части гидрослюдистый, но присутствует и монтмориллонит (рис. 3.49).

Образец №3 относится к легкоплавким глинам, так как выявлено высокое содержание SiO_2 (70-80%) и низкое содержание $Al_2O_3+TiO_2$ (до 21%), Fe_2O_3 (3-4%), CaO (1-2%), Na_2O+K_2O (3-4%). Судя по фрагментам образца №3 (рис. 3.49), использована глина без введения отошающих добавок [58, с. 112].

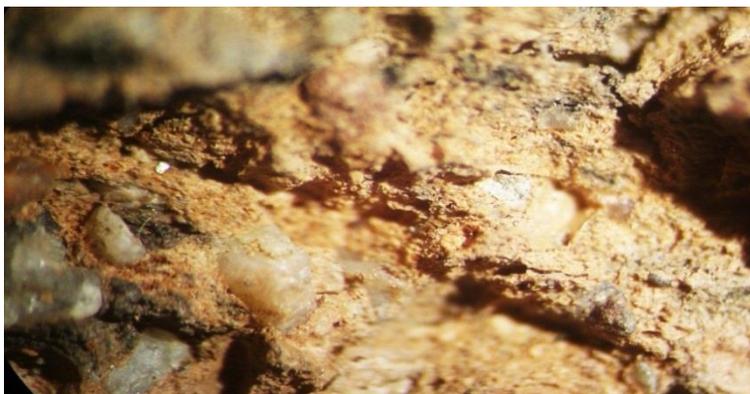


Рисунок 3.49 -
Микроструктура образца №3

Образец №4 содержит очень богатую разными минералами крупную обломочную примесь, характерную только для этого района (рис. 3.50). Состав обломочной части: кварц, кремнистые минералы, гематит, лимонит, кальцит. Размер от 0,2 до 1,5 мм. Обломки угловатые, неокатанные с зазубренными, ступенчатыми границами. Равномерно распределены по поверхности керамического изделия, которые составляют 45-50%. Цемент аморфный базальный, достаточно плотный, с раковистым изломом, ожелезненный, карбонатизированный. Цвет коричневый с оттенками терракота, что указывает на окислительную среду при обжиге. Поры мелкие размером 0,05-0,15 мм, которые равномерно распределены по всей поверхности черепка, что указывает на формовку на гончарном круге.

Образец №4 относится к легкоплавким глинам, так как выявлено низкое содержание SiO_2 (47%) и $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ (до 18%) и высокое содержание Fe_2O_3 (7-8%), CaO (10-11%) и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (7-8%) (табл. 3.4).



Рисунок 3.50 -
Микроструктура образца №4

Состав обломочной части образца №5 следующий: кварц, кремнистые минералы, гидрослюды, гематит, лимонит, полевые шпаты (рис. 3.51). Размер

обломков от 0,1 до 0,75мм, которые составляют 40-45% объема черепка. Обломки угловатые по форме. Цемент аморфный, тонкочешуйчатый яркого терракотово-желтого цвета, ожежененный, карбонатизированный. По составу гидрослюдисто-монтмориллонитовый. Обломки в цементирующей массе распределены неравномерно, сгусткообразно. Поры удлиненные, иногда закручены волнообразно. Располагаются субпараллельно друг другу, образуя своеобразную слоистость. Изготовлен на гончарном круге. Размер пор варьирует от 0,1 до 0,8 мм по длинной оси. Образец №5 имеет низкое содержание SiO_2 (45-46%), $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ (16-17%) и MgO (до 2%) и повышенное содержание Fe_2O_5 (8-9%), $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ (12-13%) и CaO (7-8%) (табл. 3.4) и относится к легкоплавким глинам.



Рисунок 3.51 -
Микроструктура образца №5

Керамический черепок образца №6 состоит из обломочной части, состоящей из кварца, кремнистых минералов, ортоклаза, гидрослюды, карбоната, гематита, размером от 0,1 до 2,5 мм, и цементирующей части, состоящей из плотного тонкочешуйчатого материала (рис. 3.52). Цемент карбонатизированный, ожежененный.



Рисунок 3.52 -
Микроструктура образца №6

Цвет грязно-коричневый, что указывает на повышенное содержание окислов железа Fe_2O_3 (9,57%), а также на окислительную среду. Состав гидрослюдисто-монтмориллонитовый. Поры округлые, удлиненные, овальные, размером от 0,1 до 2,0 мм в диаметре. Возможно изготовлен спиралевидным наращиванием. Обломки угловатые, неокатанные, распределены хаотично.

Керамический черепок образца №7 состоит из грубообломочного пескового материала (рис. 3.53). Обломки угловатые, неокатанные, разбросаны хаотично. Минеральный состав следующий: кварц, кремнистые минералы, кальцит, обломки пород (сланцы), полевые шпаты. Составляет 65-70%. Размер обломков варьируется от 0,5 до 1,5 мм. Цемент грубый, с многочисленными трещинами и порами усыхания. Поры и трещины относительно крупные, размером до нескольких сантиметров, что указывает на формовку от руки. Цвет черепка светло-желтый. Минеральный состав цемента, по-видимому, не сильно пластичный (помимо монтмориллонита содержит много гидрослюдистой составляющей).

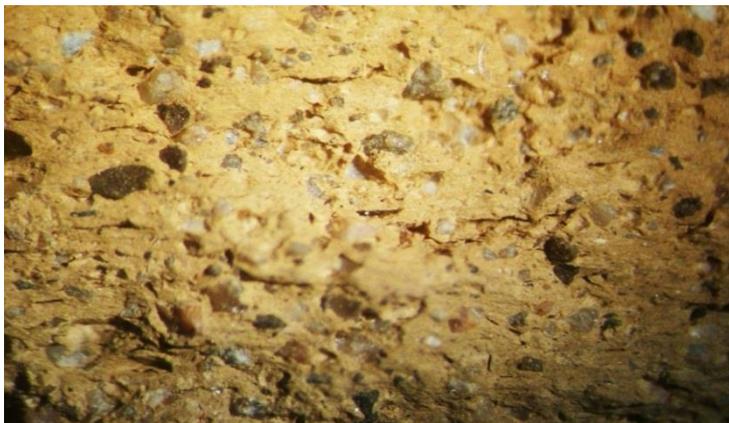


Рисунок 3.53 -
Микроструктура образца №7

Состав обломочной части образца №8: кварц, полевые шпаты, кремнистые минералы, слюды, гидрослюды (рис. 3.54). Размер обломков от 0,5 до 1,5 мм. Составляет 35-40%. Обломки в основной массе угловатые, неокатанные, редко встречаются овальные. Ориентированы беспорядочно. Границы зубчатые. Цемент ожелезненный, слабокарбонатизированный. Состав монтмориллонитовый, частично гидрослюдистый. Цвет терракотово-желтый, что указывает на окислительную среду при обжиге. Поры мелкие, размером менее 0,05 мм. Изготовлен на гончарном круге. Образец №8 можно отнести к легкоплавким

глинам, так как в составе имеется значительное количество щелочных окислов K_2O+CaO (16%) при одновременном высоком содержании Al_2O_3 (20,5%) (табл. 3.4), следовательно, состав образца обладает выраженной способностью к спеканию при понижении температуры.



Рисунок 3.54 -
Микроструктура образца №8

Обломочная часть керамического черепка образца №9 имеет следующий минеральный состав: кварц, кремнистые минералы, слюды, оливин. Составляет 45-50%. Обломки окатанные и полуокатанные, встречаются угловатые разности. Разбросаны хаотично. Размер варьирует от 0,05 до 0,5 мм. Цементирующая масса слабокарбонатизирована, имеет тонкочешуйчатую структуру. Многочисленны мелкие поры, размером 0,05 до 0,1 мм. Поры равномерно распределены по всей массе керамического черепка. Изготовлен на гончарном круге. Цвет цемента желто-зеленый (рис. 3.55).



Рисунок 3.55 -
Микроструктура образца №9

Обломочная часть керамического черепка образца №10 состоит из кварца, кремнистых минералов, слюды, гидрослюды (рис. 3.56). Размер обломков от 0,25 до 1,0 мм. Обломки окатанные, угловатые с сильно зазубренными краями. Не

имеют ориентации. Составляют 45-50%. Цемент тонкочешуйчатый с крупными удлиненными порами, размером от 0,25 до 1,5 мм по длинной оси. Цвет коричнево-желтый. Состав монтмориллонитово-гидрослюдистый, ожеженный.



Рисунок 3.56 -
Микроструктура образца №10

Достаточно рыхлая керамическая масса образца №11 с большим количеством пор (рис. 3.57). Обломочная часть состоит из кремнистых минералов, кварца, карбонатов, слюды. Размер 0,1-0,25 мм. Составляет 55-60%. Минералы имеют угловатый облик, разбросаны хаотично. Границы зерен волнисто-зазубренные. Цемент тонкочешуйчатый гидрослюдистый, карбонатизированный. Цвет светло-желтый, что указывает на слабо окислительную среду. Поры мелкие, но их много. Возможно применены две техники формовки: гончарный ручной круг и формование от руки. Образец №11 относится к легкоплавким глинам, так как имеет повышенное содержание щелочных окислов K_2O+CaO (14-15%) (табл. 3.4).



Рисунок 3.57 -
Микроструктура образца №11

Обломочная часть керамического черепка образца №12 состоит из кварца, полевого шпата (ортоклаз), биотита, гематита, гидрослюды (рис. 3.58). Размер 0,1-2,0 мм. Обломки угловатые, реже полуокатанные. Распределены неравномерно по всей площади черепка. Составляет 35-40%. Цемент светло-коричневый

тонкочешуйчатый, ожелезненный, карбонатизированный. Поры крупные, размером до 1,0-1,5 мм. Изготовлен от руки. Состоит из монтмориллонита и гидрослюды.



Рисунок 3.58 -
Микроструктура образца №12

Состав обломочной части керамического черепка образца №13: полевой шпат (ортоклаз), слюды, гидрослюды, кальцит, гематит, лимонит. Размер 0,05 до 1,0 мм (рис. 3.59), что составляет 30-35%. Форма обломков неправильная, изометричная, реже встречаются угловатые разности. Цемент тонкочешуйчатый базальный, светло-терракотового цвета, ожелезненный, монтмориллонитовый и частично гидрослюдистый. Пор много, они мелкие и средние, размером от 0,05 до 1,5 мм в диаметре. Распределены неравномерно по всей площади черепка.



Рисунок 3.59 -
Микроструктура образца №13

Состав обломочной части керамического образца №14: гидрослюды, периклаз, оливин, гематит, лимонит (рис. 3.60). Обломки овальные, удлиненно-овальные, угловатые. Степень окатанности разная. Границы зерен мягко плавно изогнутые или зазубренные (в случае угловатых зерен). Размер обломков варьирует от 0,1-1,0 мм в поперечном сечении. Составляют 45-50%. Цемент плотный, с раковистым изломом, с большим количеством пор. Поры по форме разные, но в большинстве удлиненные. Размер от 0,25 до 1,5 мм по длинной оси. Поры

вытянуты субпараллельно друг другу, образуя своеобразную слоистость. Изготовлен на гончарном круге. Цвет коричнево-терракотовый, что указывает на окислительную среду. По составу гидрослюдистый.



Рисунок 3.60 -
Микроструктура образца №14

Образец №14 можно отнести к легкоплавким глинам, так как в составе имеется значительное количество щелочных окислов K_2O+CaO (11-12%) при одновременном высоком содержании Al_2O_3 (20,27%) (табл. 3.4), следовательно, состав обладает способностью к спеканию при понижении температуры.

Состав обломочной части образца №15: кварц, гидрослюды, лимонит (рис. 3.61). Размер обломков колеблется от 0,25 до 2,0 мм. Обломки достаточно крупные, угловатые. Встречаются окатанные и полуокатанные разности. Распределены неравномерно и сгусткообразно. Составляют 35-40%. Излом черепка раковистый, что говорит о достаточно плотном цементе. Цемент ожелезненный, базальный, отличается наличием пор относительно крупного размера – 0,5-5,0 мм в диаметре. Поры распределены неравномерно. Изготовлен от руки. Цвет черепка светло-коричневый, с оттенками. Минеральный состав монтмориллонитовый.



Рисунок 3.61 -
Микроструктура образца №15

Образец №15 можно также отнести к огнеупорным глинам, так как содержит K_2O+CaO (11%) при Al_2O_3 (20,05%) (табл. 3.4). Состав обломочной части образца №16: кремнистые минералы, слюды, гидрослюды, лимонит, кальцит, полевые шпаты, кварц (рис. 3.62). Размер от 0,05 до 0,25 мм. Обломки имеют овальную форму, слабо окатаны. Составляют 35-40%. Цемент рыхлый тонкочешуйчатый, открытый, поровый, ожежененный и карбонатизированный, имеет монтмориллонито-гидрослюдистый состав. Окраска желто-коричневая. Поры удлиненные, размером от 0,1 до 0,25 мм по длинной оси и вытянуты субпараллельно в одном направлении, образуя слоистость. Изготовлен на гончарном круге. В черепке наблюдаются слои карбонатного состава, которые имеют белый цвет. Образец №16 изготовлен из легкоплавких глин, так как выявлено низкое содержание Al_2O_3 (17%) и высокое содержание $CaO+K_2O$ (14-15%) (табл. 3.4).



Рисунок 3.62 -
Микроструктура образца №16

Из легкоплавких глин изготовлены также образцы №17 и 18, так как в их составе обнаружено низкое содержание Al_2O_3 (17%) и высокое содержание $CaO+K_2O$ (15-16%) (табл. 3.4). Обломочная часть керамического черепка образца №17 состоит из кварца, кремнистых минералов, карбонатов, размером менее 0,05 мм (рис. 3.63). Форма обломков окатанная и полуокатанная. Составляет 45-50% от всей массы черепка. Цемент тонкозернистый слабо-ожежененный и частично карбонатизированный. Цвет золотисто-желтый. Керамика плотная, поры мелкие, неправильной формы, размер от 0,05 до 0,1 мм. Возможно применены две техники формовки: гончарный ручной круг и формование от руки.



Рисунок 3.63 -
Микроструктура образца №17

Обломки образца №18 представлены кальцитом, кремнистыми минералами, полевыми шпатами, слюдой, гидрослюдой, оливином (рис. 3.64). Размер обломков варьирует от 0,05 до 0,1 мм в поперечнике. Форма обломков окатанная и полу-окатанная (овальная, удлинённая). Количество обломочного материала составляет 40-55%. Цементирующая масса тонкопористая, размер пор от 0,05 до 0,2 мм. Поры удлинённой и овальной формы. Изготовлен на гончарном круге. Цвет цемента терракотово-желтый.



Рисунок 3.64 -
Микроструктура образца №18

Микроскопическое исследование черепков фрагментов керамических изделий различных объектов Кыргызстана дает следующие данные по размерам крупных частиц реликтового материала в глиняной массе этих черепков (табл. 3.7).

По результатам микроскопического исследования установлено:

- глиняные массы, предназначенные для изготовления изделий, тщательно обрабатывались с учетом их назначения;
- качество обработки глиняной массы было различным для изделия одного вида в одном керамическом пункте.

Результаты микроскопического исследования отражают в определенной степени поступательное развитие технологии керамического производства. Во-первых, совершенствуется технология приготовления формовочной массы. Появляются новые рецепты количественного состава керамического теста, соответствующие новым механическим способам формовки, например, введение гончарного круга. Увеличение доли пластичной фракции в формовочной массе положительно влияет на структуру керамики: уменьшается пористость, повышается компактность. Во-вторых, в период средневековья гончары Кыргызстана приходят к серьезным достижениям в технике обжига – осваивают высокотемпературные печи [87, с. 73].

Таблица 3.7 - Результаты микроскопического исследования древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

№ образца	Минералогический состав отощителя (минеральной составляющей)	Размеры зерен
1	Кварц, кремнистые минералы, обломки пород (кремнистые сланцы, кварциты), кальцит, полевые шпаты	0,5-2,5 мм
2	Полевые шпаты (микроклин), слюда (мусковит, биотит), лимонит	0,5-1 мм
3	Кварц, полевые шпаты	0,5-2,5 мм
4	Кварц, кремнистые минералы, гематит, лимонит, кальцит	0,2-1,5 мм
5	Кварц, кремнистые минералы, гидрослюды, гематит, лимонит, полевые шпаты.	0,1-0,75 мм
6	Кварц, кремнистые минералы, ортоклаз, гидрослюды, карбонат, гематит.	0,1-2,5мм
7	Кварц, кремнистые минералы, кальцит, обломки пород (сланцы), полевые шпаты.	0,5-1,5 мм
8	Кварц, полевые шпаты, кремнистые минералы, слюды, гидрослюды.	0,5-1,5 мм
9	Кварц, кремнистые минералы, слюды, оливин	0,05-0,5 мм
10	Кварц, кремнистые минералы, слюды, гидрослюды	0,25-1,0 мм
11	Кремнистые минералы, кварц, карбонаты, слюды	0,1-0,25 мм
12	Кварц, полевой шпат (ортоклаз), биотит, гематит, гидрослюды	0,1-2,0 мм
13	Полевой шпат (ортоклаз), слюды, гидрослюды, кальцит, гематит, лимонит	0,05-0,25 до 1,0 мм
14	Гидрослюды, периклаз, оливин, гематит, лимонит	0,1-1,0 мм
15	Кварц, гидрослюды, лимонит	0,25-2,0 мм
16	Кремнистые минералы, слюды, гидрослюды, лимонит, кальцит, полевые шпаты, кварц	0,05-0,25 мм
17	Кварц, кремнистые минералы, карбонаты.	менее 0,05-0,1 мм
18	Кальцит, кремнистые минералы, полевые шпаты, слюды, гидрослюды, оливин	0,05-0,1 мм

Дальнейшие микроскопические исследования керамических изделий Кыргызстана представляются перспективными. Они позволят получить новые материалы для характеристики технологических приемов и технического уровня керамического производства в местных культурах. Необходимым условием для успешного развития этих исследований является создание «банка данных», накопление массовой, пригодной для статистической обработки информации по хронологически и территориально широкому кругу памятников и культур.

3.8. Исследование глазурей

Важным источником информации о развитии керамического производства в эпоху развитого Средневековья являются находки глазурованных керамических изделий, относящихся к историческим периодам развитого и позднего Средневековья, X-XVI вв. Изучение глазурей способствует накоплению знаний о технологии керамического производства.

В работе предпринят опыт физико-химического исследования отдельных фрагментов средневековых глазурованных керамических изделий, обнаруженных в различные периоды времени на площади керамических центров, расположенных в Чуйской, Таласской и Кочкорской долинах Кыргызстана. Физико-химические исследования глазури керамических изделий с разных керамических центров на территории Кыргызстана позволили выявить красители, их особенности и отметить важные моменты исторического развития керамических производств, связанных с историей глазурованных керамических изделий территорий Средней Азии.

Изобретение глазурей, приемов нанесения их и росписи относятся как к истории развития техники, так и к экономике средневекового керамического производства. В связи с этим находки глазурованных керамических изделий заслуживают внимательного специального исследования. Физико-химические

исследования состава глазурей имеют значение также для проведения реставрационных работ и сохранения объектов культурного наследия в Кыргызской Республике и являются важной составляющей комплексного изучения древних и средневековых керамических изделий на ее территории современными методами.

Как показал анализ специальной литературы, посвященной исследованию глазурей на территории Средней Азии, глазури на керамических изделиях на территории Кыргызстана до настоящего времени практически не были изучены. В этой связи, целью данной главы является исследование глазурей на керамических изделиях с применением методов рентгенофлуоресцентного и микроскопического анализов. Это даст возможность выяснить ряд важных технологических особенностей, не заметных при обычном, визуальном изучении керамического материала. На основе полученных результатов исследования, выделены разные типы глазури (свинцовая, щелочная, оловянная) и определены ее главные компоненты [97, с. 43].

Фрагмент глазурованного керамического образца №13 представляет собой небольшой гончарный обломок, неправильных ромбических очертаний. Данный керамический фрагмент красно-коричневого цвета, покрытый глазурью светло-серого и черного цвета (рис. 3.65).

Сохранившийся фрагмент глазурованного керамического образца №17 является небольшим обломком трапециевидных очертаний (рис. 3.66). Данный фрагмент в изломе коричневого цвета. Он покрыт глазурью светло-зеленого цвета с темно-зеленым заполнением. На поверхности нанесены двойными полосами две треугольные фигуры, примыкающие к такой же слабоизогнутой полосе.



Рисунок 3.65 - Фрагмент глазурованного керамического образца №13



Рисунок 3.66 - Фрагмент глазурованного керамического образца №17

Возможно, что первоначально нанесенная полосами фигура изображала округлый диск, окаймленный треугольными зубцами, похожий на стилизованное изображение солнца.

Еще один фрагмент глазурованного керамического изделия (образец №11) с одной из сторон имеет горизонтальную плоскость с небольшим расширением. С другой стороны, данный фрагмент несколько сужается, напоминая поддон керамического сосуда. Фрагмент в изломе светло-коричневого цвета. Внешняя поверхность поддона покрыта глазурью зеленого цвета (рис. 3.67).

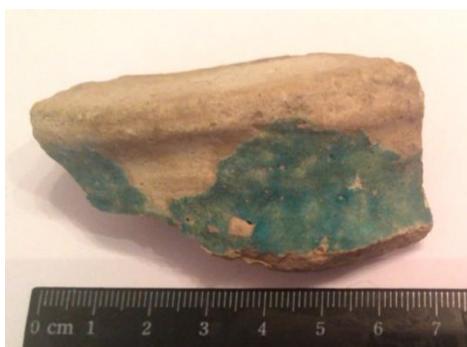


Рисунок 3.67 - Фрагмент глазурованного керамического образца №11

В процессе визуального осмотра керамических фрагментов было выявлено, что взятые для анализа глазурованные керамические образцы приготовлены из хорошо подобранных и специально отработанных глин. Они имеют в изломе ровную окраску, красновато-оранжевый, красно-коричневый или коричневый цвет черепка, что означает его довольно хороший, ровный прожог.

Глазури перед замером подвергались зачистке спиртом, чтобы по максимуму избежать возможного взаимного заражения проб. Полученные значения химического состава глазури приведены в таблице 3.8.

Согласно данным рентгенофлуоресцентного анализа глазури керамических изделий, выявлено два варианта глазури, отмеченных для исследованных фрагментов. Наиболее характерными среди них являются свинцовые глазури (образцы №13, 16-18), так как они имеют большое содержание свинца, в пересчете на оксид (PbO) от 34 до 45%.

Образец №11 можно отнести к натриево-калиево-кальциевым (щелочным) глазурям, так как он имеет большое содержание натрия, в пересчете на оксид (Na₂O) – 5,9%; кальция в пересчете на оксид (CaO) – 7,34% и калия, в пересчете на оксид

(K₂O) – 6,53%. Кроме того, образцы №18 и 11 содержат оксид олова (SnO₂). Введение олова являлось, иногда, специальным приемом, предусматривающим получение искусственным путем непрозрачной фарфоровидной глазури.

Таблица 3.8 - Химический состав глазурей образцов керамических изделий в оксидах

№ образца	11	13	16	17	18
Местонахождение	с. Эпкин	гор. Садыр-Курган		Башня Бурана	
Век	X-XII вв.	X-XII вв.	XI-XIII вв.	XV-XVI вв.	
Состав	%	%	%	%	%
SiO ₂	67,04	45,62	40,24	45,64	38,25
PbO	0,059	34,81	42,57	37,11	44,66
S	0,17	-	5,48	6,48	5,69
Al ₂ O ₃	4,85	5,39	2,9	3,88	4,94
Na ₂ O	5,9	-	1,8	1,73	1,62
Cr ₂ O ₃	0,008	-	-	0,995	0,008
P ₂ O ₅	0,175	0,607	0,9	0,83	0,994
Fe ₂ O ₃	1,77	1,51	0,414	0,82	0,417
CaO	7,34	9,54	1,2	0,819	0,83
K ₂ O	6,53	0,783	0,802	0,734	0,963
BaO	0,061	0,297	0,397	0,283	0,326
CuO	2,93	0,048	2,66	0,095	0,615
MnO ₂	0,078	0,503	-	0,036	-
U ₃ O ₈	-	0,031	0,044	0,033	0,051
SrO	0,062	0,04	0,034	0,003	0,028
ZrO ₂	0,018	0,045	0,077	0,024	-
As ₂ O ₃	-	0,095	-	-	0,147
SnO ₂	0,021	-	-	-	0,035
Sb ₂ O ₃	-	0,009	0,006	-	0,008
MgO	2,49	0,67	-	-	-
TiO ₂	0,128	-	-	-	-
ZnO	0,058	-	-	-	-
Rb ₂ O	0,015	-	0,028	-	-

Проведенное исследование свинцовых глазурей позволило выделить два их типа, которые отличаются сочетанием основных компонентов:

- глазури свинцово-силикатные, основные компоненты которых оксид свинца и оксид кремния (образцы №16-18);

- глазури свинцовые с повышенным содержанием кальция (свинцово-кальциевые), основные компоненты которых оксиды кальция, свинца, кремния (образец №13).

Микроскопические исследования глазурей показали, что микроструктура свинцовых глазурей отличается от глазурей щелочных. Щелочная глазурь (образец №11) имеет вид полупрозрачной стекловидной массы, сильно засоренной глиняной массой черепка. В стекловидной массе глазури отчетливо просматриваются зерна кварца, округлые пузырьки. Наносилась глазурь без ангоба, прямо на коричневый черепок (рис. 3.68).



Рисунок 3.68 - Микроструктура глазури образца №11



Рисунок 3.69 - Микроструктура глазури образца №13

Белая молочная свинцовая глазурь (образец №13) под микроскопом имеет вид очень плотной стекловидной массы, сочетающей участки прозрачной глазури с плотным, непрозрачным стекловидным веществом (рис. 3.69). Внутри этой массы хорошо прослеживаются полые воздушные пузырьки, иногда зерна кварца, отличные от кварцевых зерен массы черепка [139, с. 198].

В микроструктуре слегка грязноватой свинцовой глазури (образец №16) отчетливо просматривается неравномерная стекловидная масса, в которой участки прозрачной стекловидной массы сочетаются с участками, представляющими собой непрозрачную, неоформленную массу (рис. 3.70).

Среди свинцовых глазурей рассматриваемого исторического периода встречаются и другие виды окрашенных прозрачных глазурей. Исследование фрагментов с коричневой глазурью позволило выявить основной краситель, в качестве которого выступает оксид железа (образцы №17, 18).



Рисунок 3.70 - Микроструктура глазури образца №16

В таких случаях под микроскопом отчетливо прослеживаются не расплавившиеся полностью крупницы железистого красителя. Поверхность рассматриваемых глазурей часто бывает шероховатой, с малым блеском (рис. 3.72). Однако в некоторых случаях отмечаются коричневые (иногда с темно-коричневыми пятнами) блестящие и гладкие глазури (рис. 3.71).

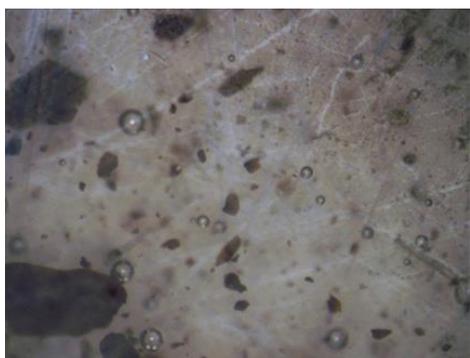


Рисунок 3.71 - Микроструктура глазури образца №17



Рисунок 3.72 - Микроструктура глазури образца №18

Согласно данным рентгенофлуоресцентного анализа выявлено, что один и тот же тип глазурей, которые отличаются сочетанием определенных основных компонентов, имеет различное количественное соотношение этих компонентов в различных образцах изделий, происходящих из одного комплекса. Определенные различия глазурей связаны с наличием или отсутствием тех или иных редких элементов, примесей (As, Zr, Ba и др.).

Таким образом, на территории Кыргызстана в течение рассматриваемого исторического периода употреблялись различные варианты глазурей. Некоторые из них были распространены и известными на территории Средней Азии. Варианты изготовления глазурей одного типа были разными за счет количественного соотношения основных компонентов глазури, например, PbO и

SiO₂. Наличие или отсутствие тех или иных второстепенных элементов объясняется различным качеством сырья, используемого различными мастерами или даже одним и тем же мастером [109, с. 23].

Как показывают результаты химического анализа, в глазурих употреблялись следующие красители:

1. Оксид железа, с помощью которой получали желтую, коричневую с красноватым оттенком, коричневую с фиолетовым оттенком, красную краски. Содержание оксида железа колеблется от 0,4 до 2%. В работе, датированной 1977 годом, Э.В. Сайко отмечает, что в качестве сырьевых материалов мастера использовали охру, пережженное железо и др. [113, с. 20]. Оксид железа применяли, например, хульбукские мастера.
2. Оксид меди, с помощью которой получали зеленую краску, разной интенсивности и оттенка, зависящих как от количества красящего компонента, так и качества глазури. Количественное содержание колеблется от 0,05 до 3%. Зеленые свинцовые глазури в домонгольский период составляли значительную группу и отмечены для всех керамических комплексов [113, с. 21]. Изделия с зеленой глазурью встречаются в материалах Афрасиаба, Пайкенда, Аблыка, Хульбука, Хорезма и др.
3. Оксид хрома дает зелено-серую и болотную краски, которые имеют разную консистенцию. Оттенок цвета зависит от характера и количества красителя. По данным рентгенофлуоресцентного анализа, количественное содержание оксида хрома колеблется от 0,01 до 1%. Повышенное его содержание отмечено для керамики из Куня-Ургенча, Шахи-Зинда и Хорезма [113, с. 23].
4. Оксид марганца, наличие которого показал рентгенофлуоресцентный анализ в образцах №13, 17, 11. В качестве красящего пигмента в темной, черно-фиолетовой краске под голубой глазурью выступает оксид марганца. М.К. Рахимов, описывая варианты получения черной глазури, приводит рецепт черной свинцовой глазури, окрашенной смесью двух красителей – оксидов кобальта (1%) и марганца (3%) [105, с. 116].

В настоящее время проследить хронологическую динамику состава глазури, их структуры – задача сложная из-за отсутствия материала. Однако

данные рентгенофлуоресцентного анализа, а также микроскопические анализы позволяют говорить о разных вариантах глазурей, обусловленных особенностями их структуры и разным соотношением в них основных компонентов примесей.

Исследование глазури керамического материала, изучение этнографических материалов позволили прийти к следующим выводам (рис. 3.73):

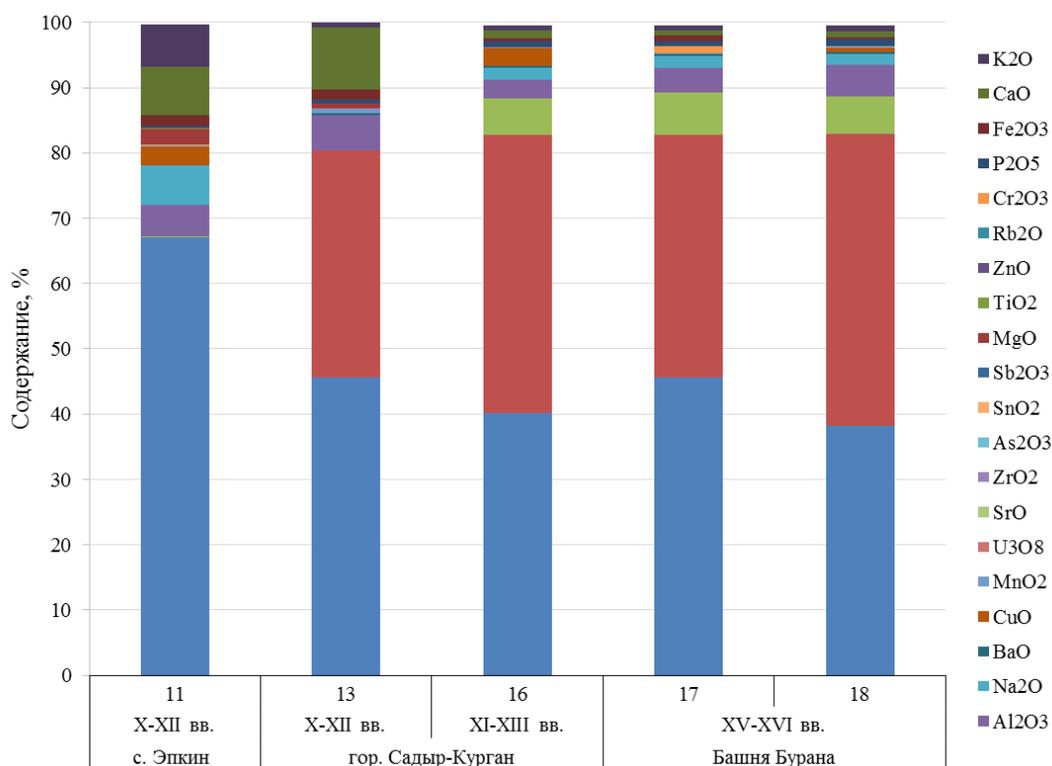


Рисунок 3.73 - Химический состав глазурей образцов керамических изделий Кыргызстана X-XVI вв.

1. Глазурь образцов с городища Садыр-Курган и памятника Башня Бурана была свинцово-силикатной. Содержание свинца в этих глазурях высокое (34-45%).
2. Соотношение ведущих компонентов PbO и SiO₂ было неодинаковым. Оно зависело, очевидно, от рецептов разных мастеров.
3. Глазурь образца №11, обнаруженного в районе села Эпкин, относится к щелочным глазурям с большим содержанием натрия, кальция и калия. Следовательно, мастера использовали и свинцовые, и щелочные глазури.
4. В одном и том же керамическом центре встречаются варианты, связанные с наличием или отсутствием тех или иных элементов, т.е. с разным сырьем, используемым в одно или разное время. Присутствие таких элементов, как Ti, Ba, Zr, Sr, Rb и т.д. указывает на локальную особенность.

5. В качестве основных красителей красок росписи и глазури в керамических изделиях X-XVI вв. на территории Кыргызстана присутствуют хром, медь, железо, марганец, которые в разном количестве и различных вариантах приготовления давали основные цвета красок росписи и окраски глазури.

Выводы по главе 3

В данной главе проанализированы результаты физико-механических и физико-химических исследований керамических изделий с целью реконструкции технологий древних и средневековых керамических производств Кыргызстана.

По результатам исследования физико-механических показателей керамических артефактов Кыргызстана, таких как водопоглощение, пористость, плотность и твердость, установлено, что:

- общий показатель пористости керамических изделий в среднем со временем снижается, что указывает не только на совершенствование мастерства гончаров, но и на совершенствование способов изготовления;
- водопоглощение, как и пористость, в среднем со временем понижается, что указывает на изменение или введение новых приемов их изготовления, а также на обработку глинистого сырья различными способами;
- усовершенствование методов обработки глины способствовало постепенному увеличению показателя плотности керамических изделий;
- твердость, как и плотность, в среднем со временем повышается, что указывает на повышение температуры обжига и совершенствование технологических процессов.

По результатам исследования физико-химических показателей керамических артефактов Кыргызстана, таких как химический состав, характер высокотемпературных новообразований, микроструктура, установлено, что:

- в химическом составе постоянно присутствуют такие элементы, как титан, марганец, барий, цирконий, ванадий, стронций, рубидий, цинк и хром, которые

содержатся в почве тех районов, где обнаружены керамические изделия, что, в свою очередь, указывает на локальную особенность;

- наличие или отсутствие тех или иных кристаллических фаз определяют как характер минерального состава используемых глин, так и степень ее температурного преобразования, что позволило более достоверно определить температуру обжига;
- особенности микроструктуры, и, прежде всего, особенности порового пространства, которые являются основой специфических прочностных и деформационных свойств керамических изделий, указывают на характер обработки сырья;
- микроскопические исследования отражают в определенной степени поступательное развитие технологии керамического производства, совершенствование технологии приготовления формовочной массы: увеличение доли пластичной фракции в формовочной массе приводит к уменьшению пористости, повышению пластичности.

Исследование глазурей показало, что красители керамических изделий, использованные мастерами на территории Кыргызстана, не отличаются от красителей других различных районов на территории Средней Азии.

Результаты исследований еще раз показывают необходимость вывести археологию из дисциплины чисто исторической в междисциплинарное поле, потому что их использование в археологической практике позволит более четко выделить привозные изделия в общей массе изделий местного изготовления, более достоверно воссоздать условия керамического производства наших предков.

ГЛАВА 4

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ КЫРГЫЗСТАНА В ПЕРИОД II ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ ДО Н.Э.–XVI В. Н.Э. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Определение температуры обжига

Обжиг является завершающим этапом в производстве глиняных изделий. В этом процессе происходит формирование керамического материала, создается изделие. Основным параметр обжига – это его температура, которая связана с расширением и усложнением опыта мастеров, и определялась в каждом конкретном случае производственными потребностями. Поэтому определение температуры обжига, которая выражает уровень и характер древнего производства, является важнейшим моментом в изучении исторического развития керамического производства, играющего важную роль в экономической жизни древнего общества в силу его технического потенциала и практической значимости.

Как показал анализ литературы, режим обжига кыргызских керамических изделий изучен очень слабо, поэтому в данной главе приводятся результаты работы по определению температуры их обжига.

В настоящее время накоплены определенные знания об особенностях обжига керамических артефактов, в частности, о его температуре. Для определения температуры обжига используют различные методы исследования: микроскопический, измерение теплового расширения образца, рентгеновская дифракционная спектроскопия и т.д.

К сожалению, каждый из указанных методов обладает не только достоинствами, но и недостатками. Поэтому при изучении условий кыргызских

керамических изделий использован метод комплексного анализа материала. В качестве основных выступили микроскопический и рентгенофазовый анализы и технические испытания (твердость, водопоглощение и т.д.). Показательны в плане характеристики степени обжига керамического изделия ее твердость, степень водопоглощения. Однако в глиняной массе происходят и другие, более сложные преобразования, фиксируемые лишь специальными микроскопическими и рентгеновскими исследованиями.

В основе всех используемых методов лежит исследование характера и степени физико-химических преобразований глиняной массы изделий. Известно, что при нагревании глиняных образцов происходит удаление гидратной и конституционной воды, выгорание органики, изменяется характер глинистой массы, происходит ее аморфизация, значительно изменяются минеральные примеси, преобразуется внешний вид, меняется структура и механические свойства материала. Характер этих преобразований зависит от типа глин и условий тепловой обработки, в частности, температуры обжига.

Многие из термических преобразований, происходящих в глиняной массе изделий, хорошо видны при исследовании под микроскопом. Особенности термических изменений минералов позволяют делать определенные заключения о температурном режиме обжига керамических изделий. Известно, что кварц растрескивается, а α переходит в β -кварц теоретически при 575°C , а практически при $800-900^{\circ}\text{C}$. Но превращение обычного кварца в высокотемпературный под микроскопом не обнаруживается, поскольку при охлаждении происходит обратное превращение его в низкотемпературный. Глинистый минерал каолинит теряет конституционную воду при $800-900^{\circ}\text{C}$, полностью ослабляясь. Подвергаются изменениям гидрослюда, обычный минерал в рядовых глинах и другие минералы. Однако практически при микроскопическом изучении глиняной массы черепка могут быть отмечены преобразования лишь некоторых минералов, температура этих изменений определяется приблизительно. Наиболее показательными являются карбонатные и железистые соединения [44, с 73]. Фиксируются под микроскопом

такие изменения, как помутнение зерен кварца, полевого шпата, для которого потемнение зерен отмечается в температурном интервале 650-950°C.

Обезвоженный железно-кислый минерал гематит, сам представляющий продукт разложения, в свою очередь, в зависимости от условий, превращается в магнетит, лимонит и другие железистые минералы, придающие глинам желтую и красно-коричневую окраску. Полиморфные превращения гематита при обжиге происходят при температуре 675-678°C, биотит имеет четко выраженный эндотермический эффект в интервале 570-700°C, когда происходит выделение гидратной воды. Этот процесс заканчивается при 1160-1180°C и может быть зафиксирован микроскопическим исследованием [109, с. 26].

Данные микроскопического анализа дополнялись рентгенофазовым анализом, который дает сведения о степени термических преобразований. Он основан на изучении спектров рентгеновских фаз, получаемых при облучении различных кристаллических веществ. Наличие или отсутствие тех или иных кристаллических фаз определяют не только характер минерального состава используемых глин, но и степень ее температурного преобразования. Особенно показательны для определения температуры обжига новые минеральные фазы, фиксируемые на рентгенограмме, такие, как геленит-анортит (температура образования 850-900°C), анортит-геленит-волластонит (950-1000°C). На основании спектров рентгеновской дифракции, Г. Пиренет, разработавший интересную методику определения древних температур, пытался определить температуру обжига средиземноморской древней керамики [109, с. 31].

При температурной обработке многие минералы претерпевают изменения, приводящие к их разрушению и образованию новых минеральных фаз. Так, значительные изменения претерпевает карбонат, который к температуре 850°C в основном разлагается. Изменяется слюдистый материал. В процессе обжига, в результате потери гидроксильной группы, нарушается первичная структура слюды. При температуре 970°C образуется шпинель. В температурных пределах 1000-1100°C претерпевает определенные изменения и кварцевый материал – зерна кварца пелитизируются. В результате термических преобразований изменяется фазовый

состав глинистого материала. При температуре 800-840°C появляется геленит, в температурном интервале 850-1000°C образуется волластонит, около 1000°C – муллит, 1000-1050°C – анортит и т.д. Преобразуется и связующая глиняная масса. Глинистые частицы при обжиге частично перекристаллизуются в виде мелко столбчатых и чешуйчатых кристалликов. В массе черепка появляется стекловидная фаза. На этом явлении основано определение температуры обжига керамических изделий по минералогическим критериям. Для минералов, наиболее часто встречающихся в составе черепка, установлена следующая шкала температурных изменений [48, с. 58].

Таблица 4.1 - Шкала температурных изменений минералов

Рассчитанная температура обжига, °С	Присутствующие минеральные фазы
350	образование цинпита
300-400	переход β-кristобалита в α-кristобалит, который метастабилен до 1470
350-480	переход гетита в магнетит
400	переход лимонита (гидрогетита) в гематит α-Fe ₂ O ₃ ; гидраргиллита в бемит
400-750	переход гипса двуводного в ангидрит
400-800	переход анатаза в рутил
500-600	переход диаспора, бемита в α-Al ₂ O ₃ корунд
550-580	переход β-кварца в α-кварц
580-680	образование магнезита
650-700	переход гематита α-Fe ₂ O ₃ в γ-Fe ₂ O ₃
730-740	распад доломита
620	образование лейцита
600-800	переход хлорита в оливин
700-900	переход талька в энстатит
800-840	разрушение каолинита и кальцита; появление геленита
850	изменение гидрослюды (иллит), гидромусковита; появление волластонита
870	образование крестобалита; переход β-тридимита в α-тридимит
840-900	геленит+анортит, алит, белит
900	начало изменения биотита и полевых шпатов (ортоклаз, альбит, анортит)
900-950	разлодение доломита
950-1000	анортит+ геленит+волластонит
850-1100	появление новообразования шпинели
900-1000	появление новообразования муллита и силлиманита
1000	начало кристаллизации эгирин-авгита и анортита; образование форстерита
1160-1100	переход галлуазита в муллит
1100-1200	переход магнезита в периклаз
1200	появление новообразования касситерита и кордиерита
1330	плавление флогопита

Исходя из того, что при термической нагрузке в образце происходят превращения, многие из которых необратимы, было предположено, что пройденные при первоначальном обжиге образца термические реакции и термоэффекты при повторном нагревании образца в принципе не повторяются. Отсутствие таких эффектов при соответствующей температуре – свидетельство того, что эта температура была уже пройдена образцом. С другой стороны, новые эффекты – показатель не пройденной температуры. В результате представляется возможным выделить температурный интервал обжига.

Результаты рентгенофазового анализа показывают наличие в структуре образца №1, II тыс. до н.э., пиков ангидрита, иллита, ортоклаза, что характерно для черепков, прошедших низкотемпературный обжиг. Следовательно, температура обжига могла достигать 500–600°C. Согласно данным микроскопического исследования, грубые керамические изделия эпохи бронзы (образец №1) готовились из относительно малопластичных глинистых пород – местных лессовидных суглинков, не требовавших введения отошающих добавок. Следовательно, температура обжига была невысокой – 500–600°C [58, с. 114].

Согласно рентгенофазовому анализу, в образце №2, III-II вв. до н.э., зафиксированы такие кристаллические фазы, как цинпит-лейцит-магнезит, на основании чего можно предположить, что температура обжига могла достигать 650–850°C. По данным микроскопического исследования, температура обжига образца №2 не превышает 850°C.

II-III вв. представлены двумя образцами, обнаруженными в с. Жаркынбаево (образец №4) и районе бассейна реки Тосор (образец №3). На основании фиксации таких минеральных фаз, как галлуазит-форстерит-кальцит для образца №4, и альбит- α -кристобалит-лейцит – для образца №3, можно предположить температуру обжига для образца №4 – 800–900°C, а для образца №3 – 700–900°C.

Микроскопия образца №3 показывает присутствие на фоне грубообломочной основы многочисленных зерен полевого шпата и кварца, размером от 0,5 до 2,5 мм (рис. 3.49), что соответствует средней температуре обжига 700–900°C. В то же время образец №3 со светло-коричневым черепком имел, судя по характеру

изменений глиняной массы черепка, в центре и на поверхности сравнительно равные изменения, вызванные довольно длительным сохранением слабо окислительной среды при температуре порядка 750–850°C. Несколько выше температура обжига образца №4, которая равнялась 800–900°C (рис. 3.50).

Согласно рентгенофазовому анализу, в образце №5, VIII–IX вв., зафиксированы кристаллические фазы гематит-лейцит-цинкит-кальцит, на основании чего можно предположить, что температура обжига могла достигать 650–800°C. Изучение температурных изменений в массе черепка образца №6 XIII–X вв., на основании фиксации таких минеральных фаз, как α -тридимит-форстерит- α -кристобалит, позволило предположить температуру обжига 700–850°C.

Рассмотрим керамическое производство X–XII вв., представленное большим количеством керамических артефактов. Для изделий периода X–XII вв. температура обжига была выше. Керамическое производство Кочкорского района представлено образцами №10 и 11. В образце №11 зафиксированы кристаллические фазы магнезит-гидрослюда-иллит-гипс двуводный, что соответствует температуре обжига 600–700°C. Состав образца №10 состоит из фаз мелилит-форстерит-флогопит, что соответствует температуре обжига 1000–1200°C.

Изучение температурных изменений в массе черепка образца №9 (с. Кызыл-Сенир), на основании фиксации таких минеральных фаз, как корунд-форстерит-цинкит-волластонит, позволило предположить для этой группы керамических изделий температуру обжига – 800–1000°C.

Керамическое производство Чуйской долины представлено образцами №12 (с. Кок-Жар) и №15 (с. Красная речка). В образце №15 присутствуют магнезит-цинкит-волластонит, что соответствует температуре обжига 700–850°C. На основании фиксации минеральных фаз ортоклаз-галлуазит-муллит для образца №12 можно предположить температуру обжига – 850–900°C.

Иссык-Кульское керамическое производство представлено образцами №7 (с. Туура-Суу), №8 (с. Кайнар) и №14 (с. Курменты). Наблюдение за температурными изменениями в массе черепка образца №8, на основании фиксации минеральных фаз анатаз-гидрослюда, позволило предположить температуру обжига – 850–950°C. В

составе образца №14 зафиксированы кристаллические фазы мусковит-форстерит-флогопит, что соответствует температуре обжига 800–900°C. Образец №7 состоит из фаз флогопит-форстерит-ортоклаз, что соответствует температуре обжига 900-1000°C.

Так, микроскопическое исследование изменений в глиняной массе образца №7 (рис. 3.53) свидетельствует о том, что он был обожжен при довольно высокой температуре, около 1000°C. В массе черепка отмечены субмикроскопические новообразования, при большом увеличении хорошо фиксируются кристаллы форстерита, имеющие стеклянный блеск. При микроскопическом исследовании образца №8 выявлено, что температура обжига находилась в пределах 850-950°C, так как карбонат полностью обожжен, а слюда превращена в гидрослюда (рис. 3.54). Чуть ниже температура обжига образца №14 – 800-900°C (рис. 3.60).

Согласно рентгенофазовому анализу, в образце №13 (гор. Садыр-Курган) зафиксированы кристаллические фазы иллит-флогопит-ортоклаз, на основании чего можно предположить, что температура обжига могла достигать 800-900°C.

Исследования фрагментов керамических изделий XI–XIII вв. показали разницу в температуре обжига изделий. Но эта разница не связана с определенными формами и видами их. Скорее всего, эти различия связаны с разным временем обжига и зависят от конкретных его условий. В образце №16 (гор. Садыр-Курган) XI–XIII вв. присутствуют фазы каолинит-микроклин- α -кристобалит, что соответствует температуре обжига 800-850°C.

Керамические изделия XV–XVI вв. представлены образцами №17 и 18 из Чуйской долины. В образце №17 присутствуют фазы оливин-кордиерит-пирофиллит, на основании чего можно предположить температуру обжига 1000-1200°C. В образце №18 зафиксированы кристаллические фазы флогопит-оливин-анортит-биотит, что соответствует температуре обжига 900-1000°C.

Микроскопическое исследование изменений в глиняной массе образца №17 (рис. 3.63), изготовленного из лёссовидного суглинка, свидетельствует о том, что он был обожжен при довольно высокой температуре, не менее 1000-1200°C. Карбонат полностью обожжен. В массе черепка отмечены субмикроскопические

новообразования, при большом увеличении хорошо фиксируются кристаллы пиррофиллита, имеющие стеклянный блеск.

Значениям температуры обжига, которые были определены рентгенофазовым и микроскопическим анализами, соответствуют значения твердости (табл. 3.1). Например, средняя твердость образца №17 (110 HR) несколько выше средней твердости образца №18 (106,7 HR), но это различие не принципиальное. Оно свидетельствует о более высокой температуре обжига образца №17.

Средняя твердость образцов №16 (110,5 HR) и №17 (110 HR) практически одинакова, а температура обжига образца №16 ниже, чем образца №17. Такое отличие связано с тем, что средневековые керамисты не могли достичь постоянства температуры в печи, что привело к понижению твердости керамики. Также низкая температура компенсировалась восстановительным режимом обжига. Результатом определенной временной выдержки являлся черепок с хорошими эксплуатационными качествами. Таким образом решалась и еще одна задача: сохранение на поверхности сосудов лощения, так как блеск сосудов при высоких температурах ослабевает [83, с. 64]. По данным комплексного исследования древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана установлены следующие температуры обжига:

Таблица 4.2 - Температура обжига образцов керамических артефактов

№ обр.	Местонахождение	Век	t обжига, °С
1	Бассейн р. Тосор	II тыс. до н.э.	500–600
2	с. Уч-Курбу	III–II в. до н.э.	650-850
3	Бассейн р. Тосор	II–III вв.	700-900
4	с. Жаркынбаево	II–III вв.	800-900
5	с. Красная речка	VIII–IX вв.	650-800
6	башня Бурана	VIII–X вв.	700-850
7	с. Кан-Добо	X–XII вв.	900-1000
8	поселение Кайнар		850-950
9	с. Кызыл-Сеңир		800-1000
10	с. Эпкин		1000-1200
11			600-700
12	с. Кок-Жар		850-900
13	гор. Садыр-Курган		800-900
14	с. Курменты		800-900
15	с. Красная речка		700-850
16	гор. Садыр-Курган		XI–XIII вв.
17	башня Бурана	XV–XVI вв.	1000-1200
18			900-1000

Из вышеизложенного следует, что результаты микроскопического и рентгенофазового анализов образцов кыргызских керамических изделий показывают их сопоставимость и соответствуют результатам твердости.

Как свидетельствуют данные конкретных исследований древнего керамического материала Кыргызстана, подъем рабочей температуры был сложным и зависящим от многих факторов процессом. И собственно повышение температуры выступает как самостоятельная цель в основном при освоении определенного рода керамической продукции (высоко кремнеземистых масс, тугоплавких щелочных, полевошпатовых глазурей), т.е. свидетельствует о разработке новых технологических приемов.

Из графика (рис. 4.1) видно, что керамические изделия II тыс. до н.э. обжигались при температуре от 500-600 С (образец №1), а в X–XII вв. температура обжига возросла до 1000-1200°С (образец №6). Это объясняется совершенствованием режимов обжига и навыков керамистов.

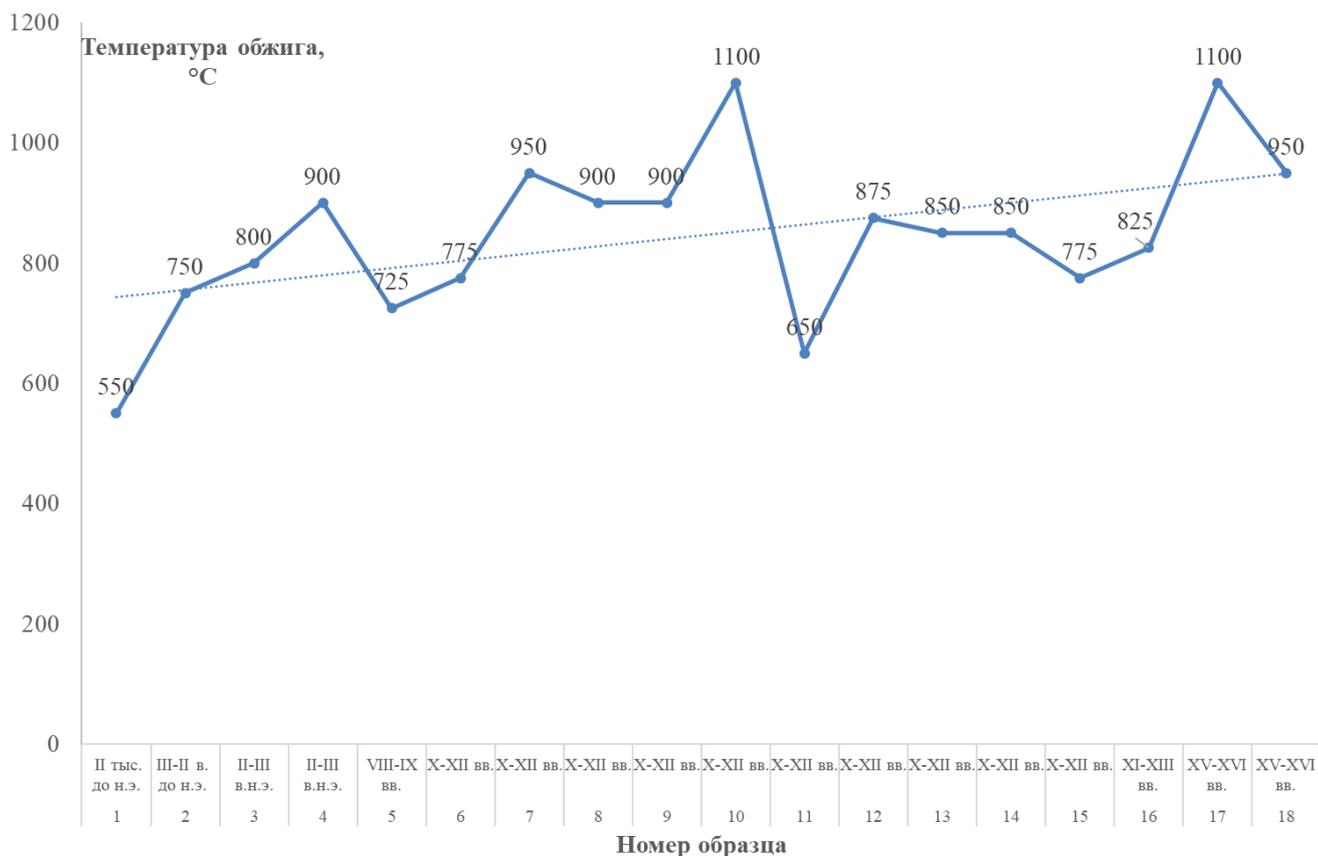


Рисунок 4.1 - Динамика изменения температуры обжига древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Показательно, что уже для отдельных древнейших образцов керамических изделий отмечается порой довольно высокая температура обжига до 900°C, в то время как для средневековых изделий в период, когда был технически освоен температурный предел порядка 1000-1200°C, известны образцы, обожженные и при температуре 650-750°C (рис. 4.1). Такое различие зависит от наличия различных технологий, уровней производства, а также назначения изделий.

Определенная высота температуры выступала одним из активных факторов прогресса технологии обжига. Усложнялся режим обжига в целом, увеличивались возможности его регулирования, появлялись различные усложненные варианты его и т.д. Таким образом, весь процесс обжига совершенствовался за счет появления специальных приемов, дифференциации их. И дифференциация, и специализация приемов, связанных с обжигом керамических изделий, выступали определяющим направлением прогресса технологии обжига.

4.2. Определение источников сырьевой базы

Сырьевая база, определяя принципы технологических традиций, становится частью этих технологий, поэтому определение источников сырья керамических изделий является весьма важной проблемой. Основной задачей данного параграфа является определение сырья по качеству и характеру глин, используемых для изготовления различных изделий мастерами одного объекта и разных объектов. Решение вопроса о том, на местной ли основе развивалось производство или практиковался импорт сырьевых материалов, а, возможно, и готовой продукции, имеет существенное значение для изучаемых керамических центров.

Керамические образцы древних и средневековых производственных центров отличаются по минералогическому составу глин, поэтому для определения сырьевой базы использованы результаты рентгенофлуоресцентного анализа [106, с. 11]. При этом параллельно проводилось изучение образцов глин

из предполагаемых древних карьеров. Само собой разумеется, что выбор месторождений вероятного сырья должен быть логически обоснован близостью месторождения к изучаемому объекту, наличию древних выработок или же, по сведениям, полученным из литературных источников, традициям более раннего использования данного сырья.

В данной главе приводятся результаты исследования с помощью применения рентгенофлуоресцентного метода, целью которых явилось уточнение месторождения глины, которую использовали кыргызские мастера различных керамических центров.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий Чуйской долины. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городищ Красная речка (образцы №5, 15), Кок-Джар (образец №12) и башни Бурана (образцы №6, 17 и 18), расположенных в Чуйской долине (табл. 3.4), проведен рентгенофлуоресцентный анализ (табл. 4.3) современного керамического изделия (образец №19), изготовленного из глины месторождения с. Ивановка, которое расположено между городищем Красная речка и башней Бураной [94, с. 104].

Таблица 4.3 - Химический состав образца №19 (с. Ивановка) в оксидах

Состав	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	K₂O	CaO	MgO	TiO₂	MnO₂	BaO	ZrO₂
%	56,44	23,53	7,42	4,14	3,93	3,49	0,634	0,132	0,065	0,033
Состав	SrO	Rb₂O	ZnO	Cr₂O₃	CuO	NiO	PbO	Y₂O₃	Na₂O	SO₃
%	0,025	0,024	0,018	0,008	0,005	0,005	-	-	0,36	0,045

На рисунках 4.2-4.10 представлены результаты проведенных анализов.

При исследовании химического состава керамических изделий из различных средневековых центров Чуйской долины выявлено, что наименьшей однородностью обладали образцы из Башни Бурана. Разброс крайних значений для них по K₂O – в 2 раза (рис. 4.5) и CaO, MgO – в 1,5 раза (рис. 4.3 и 4.6), что вполне возможно указывает на локальное загрязнение образцов [138, с. 414]. Для остальных химических компонентов тех же образцов максимальное изменение составляет 0,5-1 раз.

Максимальное изменение по рассмотренным химическим составляющим образцов Краснояреченских керамических изделий составляет 0,5-1 раз, исключая MnO_2 . Анализ исследованных химических составляющих образцов Чуйской долины показал, что кроме CaO , они имеют регулярность своего состава, следовательно, для определения их сырьевой базы можно использовать анализ химического состава современной керамики этого региона [88, с. 45].

Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию CaO к современному образцу (№19) ближе всего образцы №15 и 12 (рис. 4.3). К образцу №19 по содержанию MnO близки образцы №15, 12, 18 (рис. 4.7). По содержанию MgO (рис. 4.6) ситуация аналогична с оксидом марганца MnO . Образцу №19 по содержанию K_2O приблизительно соответствует образец №5 (рис. 4.5). Между тем, образец №5 по содержанию K_2O различается не только от образца №15, но и от других исследованных образцов керамических изделий. Образцу №19 по содержанию Fe_2O_3 соответствуют все исследуемые образцы, кроме образца №6 (рис. 4.4).

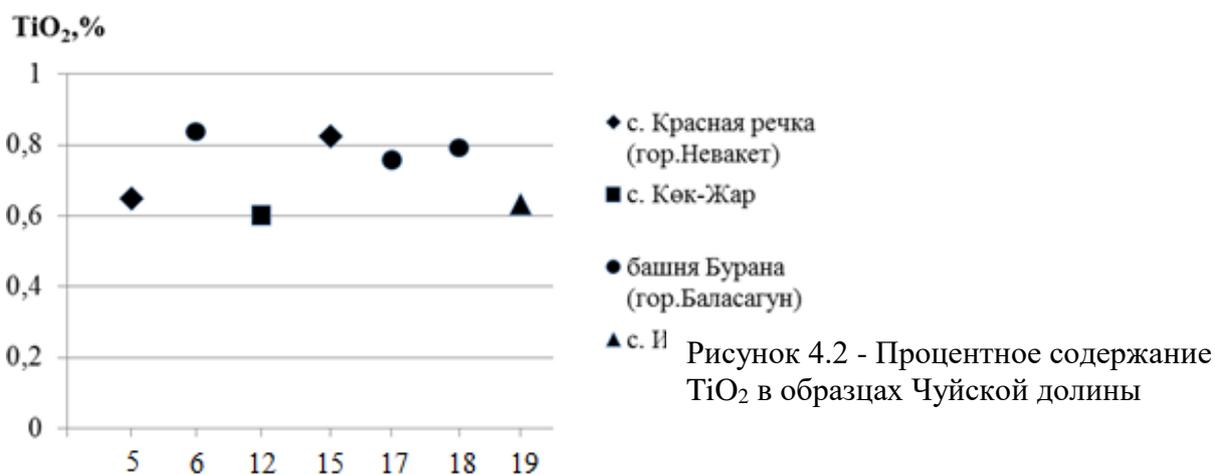


Рисунок 4.2 - Процентное содержание TiO_2 в образцах Чуйской долины

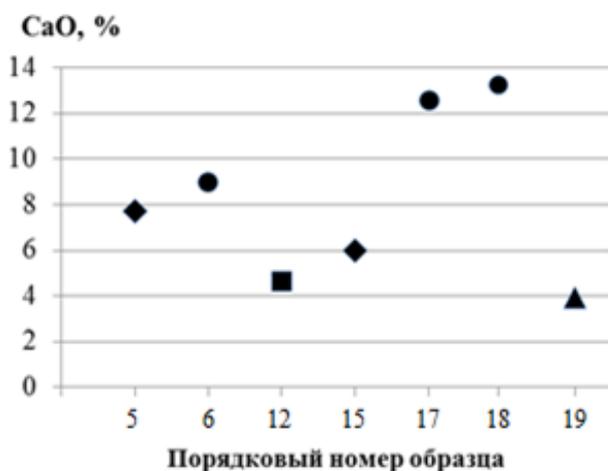


Рисунок 4.3 - Процентное содержание CaO в образцах Чуйской долины

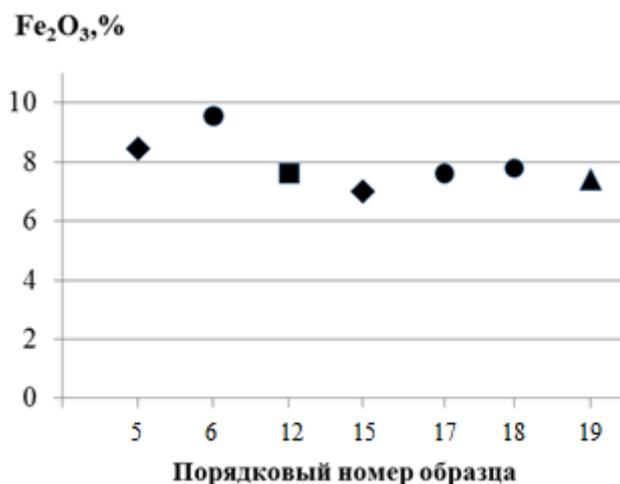


Рисунок 4.4 - Процентное содержание Fe_2O_3 в образцах Чуйской долины

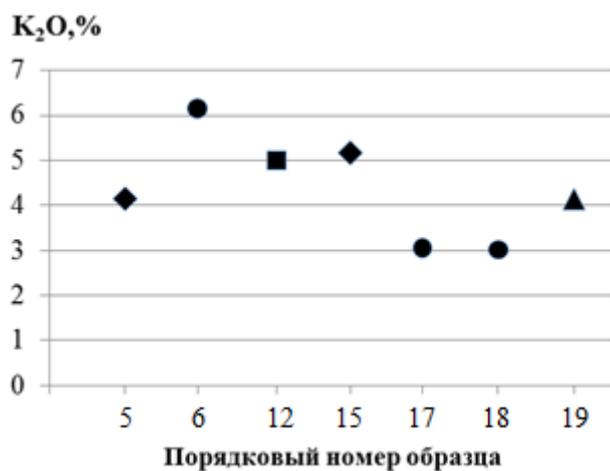


Рисунок 4.5 - Процентное содержание K₂O в образцах Чуйской долины

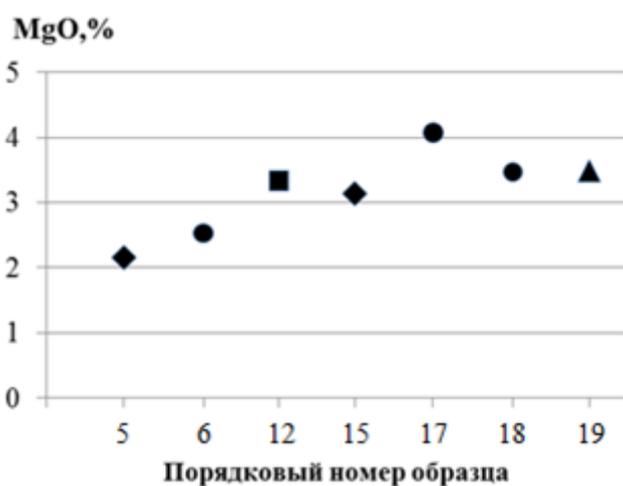


Рисунок 4.6 - Процентное содержание MgO в образцах Чуйской долины

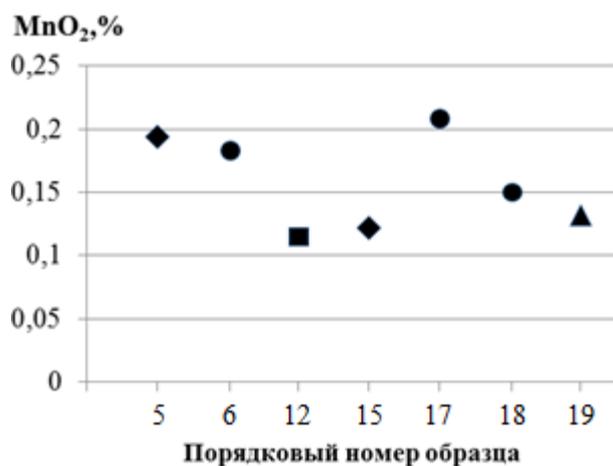


Рисунок 4.7 - Процентное содержание MnO в образцах Чуйской долины

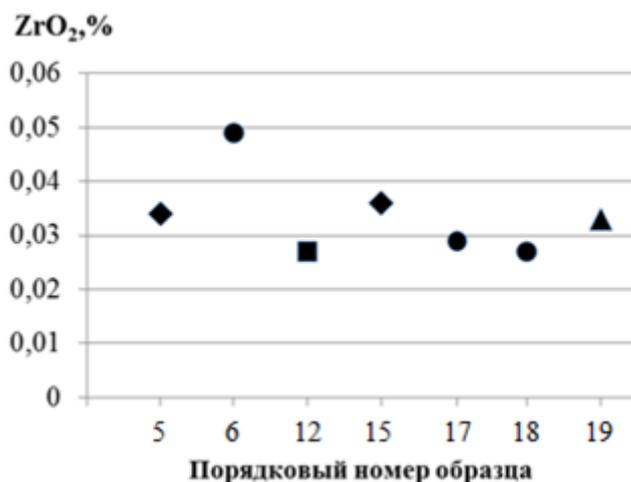


Рисунок 4.8 - Процентное содержание ZrO₂ в образцах Чуйской долины

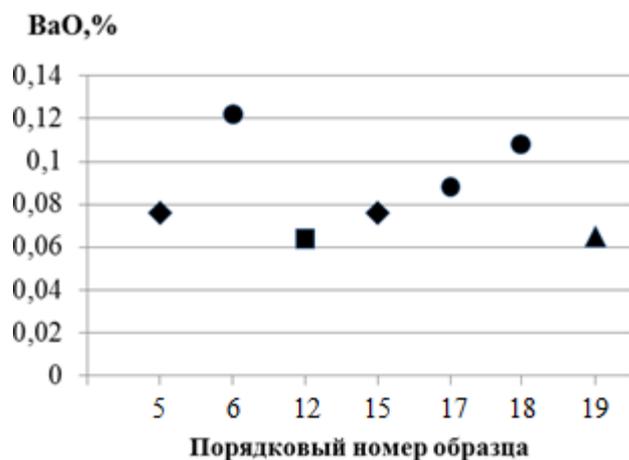


Рисунок 4.9 - Процентное содержание BaO в образцах Чуйской долины

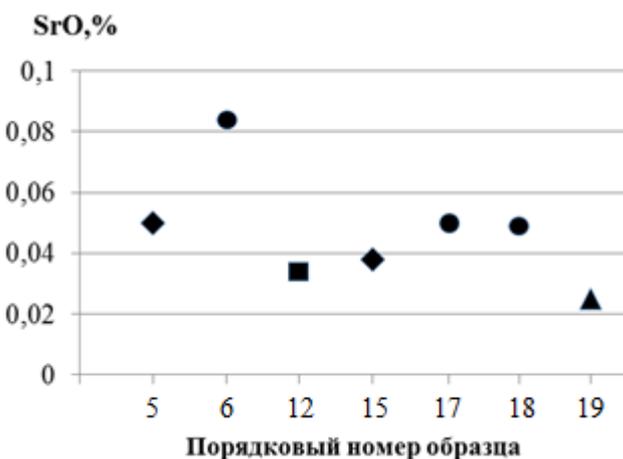


Рисунок 4.10 - Процентное содержание SrO в образцах Чуйской долины

Образцы №5, 15, 12 по содержанию ВаО мало различаются между собой и приблизительно соответствуют образцу №19 (рис. 4.9). Образцу №19 по содержанию TiO₂ соответствуют образцы №5 и 12 (рис. 4.2). По содержанию ZrO₂ исследуемые образцы незначительно отличаются друг от друга, кроме образца №6 (рис. 4.8). Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию SrO образцы №15 и 12 ближе всего к образцу №19 (рис. 4.10). Образец №6 по содержанию стронция отличается от остальных образцов.

Анализ химического состава керамического материала Чуйской долины рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию Fe₂O₃, K₂O, TiO₂, ZrO₂ и SrO исследуемые образцы средневековых керамических изделий, кроме образца №6, по химическому составу близки к современному образцу №19 из с. Ивановка;
- керамисты производственных центров с. Красная речка, с. Кок-Джар и башни Бурана могли использовать глину из месторождения с. Ивановка, что указывает на местное производство.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий южного побережья Иссык-Куля. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городища Кан-Добо (образец №7) и поселения Кайнар (образец №8), расположенных в 5-7 км от с. Боконбаево, стоянки Тосор (образец №1, 3) и могильника Уч-Курбу (образец №2), расположенных в 40 км от с. Боконбаево южного побережья Иссык-Куля, были отобраны глины с месторождений Ак-Сай (образец №20), Согуту-Сай (образец №21), Кольцово (образец №22) и Чоку-Булак (образец №23), расположенных поблизости от исследуемых объектов.

В таблице 4.4 приведены их химические составы [75].

Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество. Пересчет химического состава глины на прокаленное вещество проведен по формуле:

$$x = (100 * a)/(100 - б), \quad (8)$$

где x – содержание составляющей в прокаленной глине в %;

a – содержание составляющей в данной глине до прокаливания в %;

b – потери при прокаливании (п.п.п.) в %.

Таблица 4.4 - Химический состав глин с месторождений южного побережья Иссык-Куля

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	п.п.п.
20	Ак-Сай расположен в 17 км от с. Боконбаево	55,90	26,65	1,22	0,50	1,39	2,82	0,03	9,48
21	Согуту-Сай расположен в 24 км от с. Боконбаево	50,70	31,85	1,45	0,40	1,39	3,92	0,01	10,70
22	Кольцово расположено в 2 км от с. Боконбаево	46,20	33,13	3,60	2,09	1,82	4,35	0,60	11,30
23	Чоко-Булак расположен в 12 км от с. Боконбаево	48,08	30,04	3,19	0,60	0,72	3,89	0,67	10,90

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Химический состав глин с месторождений южного побережья Иссык-Куля в прокаленном состоянии

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂
20	Ак-Сай	61,75	29,44	1,35	0,55	1,54	3,12	0,03
21	Согуту-Сай	56,77	35,67	1,62	0,45	1,56	4,39	0,01
22	Кольцово	52,09	37,35	4,06	2,36	2,05	4,90	0,68
23	Чоко-Булак	53,96	33,71	3,58	0,67	0,81	4,37	0,75

На рисунках 4.11-4.15 представлены результаты проведенных анализов.

При исследовании химического состава глин из различных месторождений южного побережья Иссык-Куля выявлено, что образцы глины из Кольцово и Чоко-Булак по содержанию TiO₂ в среднем превышают в 30 раз образцы глины из Ак-Сай и Согуту-Сай (рис. 4.11), что свидетельствует о возможном локальном загрязнении образцов. Для остальных химических составляющих тех же образцов максимальный разброс не превышает 1,5-2 раза. Анализ исследованных химических составляющих образцов глин южного побережья Иссык-Куля показал, что кроме TiO₂ они имеют регулярность и для определения сырьевой базы их можно использовать для сравнения с химическими составляющими образцов древних и средневековых керамических изделий [92, с. 33].

Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию

СаО образец №2 из Уч-Курбу ближе всего к образцам глины из Ак-Сай, Согуту-Сай и Чоко-Булак (рис. 4.12), а образцы керамических изделий из Кан-Добо и Тосор ближе к образцу глины из с. Кольцово. К образцам исследуемых глин по содержанию MgO соответствуют образцы №1, 2 и 3 (рис. 4.14), а по содержанию K₂O соответствуют образцы №1, 2, 3 и 7 (рис. 4.15).

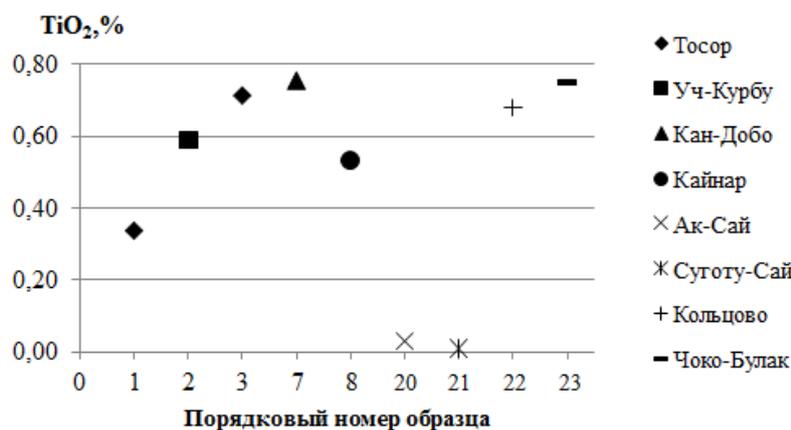


Рис. 4.11 - Процентное содержание TiO₂ в образцах южного побережья Иссык-Куля

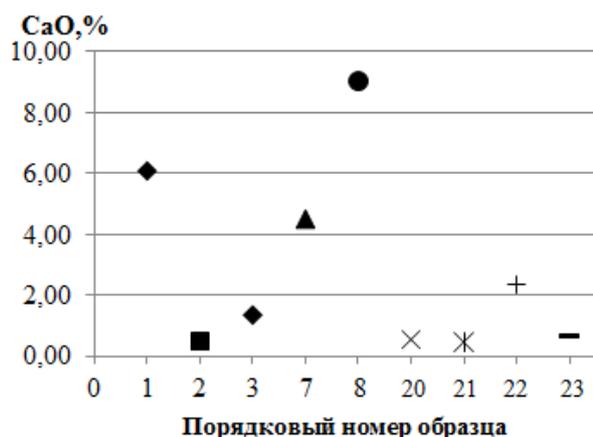


Рис. 4.12 - Процентное содержание СаО в образцах южного побережья Иссык-Куля

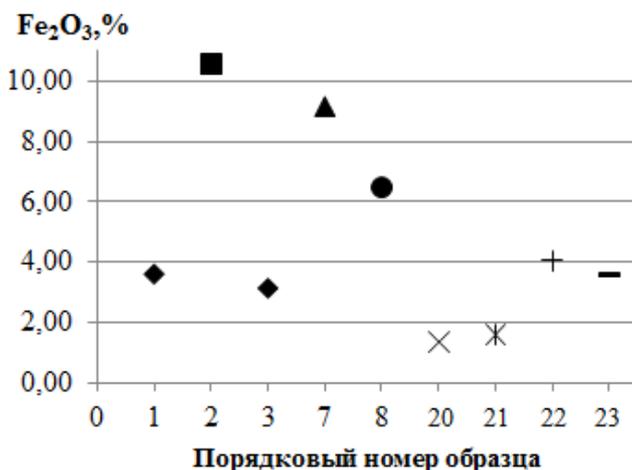


Рис. 4.13 - Процентное содержание Fe₂O₃ в образцах южного побережья Иссык-Куля

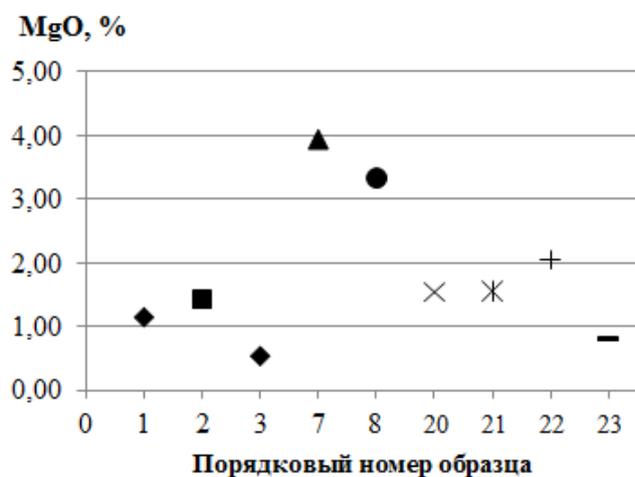


Рис. 4.14 - Процентное содержание MgO в образцах южного побережья Иссык-Куля

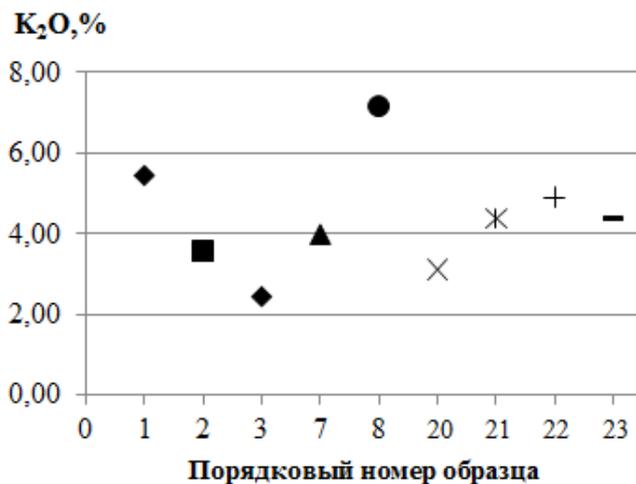


Рис. 4.15 - Процентное содержание K₂O в образцах южного побережья Иссык-Куля

В тоже время образец №8 по содержанию K_2O различается от других рассмотренных образцов глины. Исследуемые глины по содержанию Fe_2O_3 соответствуют образцам №1, 3 и 8, исключая образцы №2 и 7 (рис. 4.13). Присутствие в керамических образцах более высокого содержания примесей по сравнению с образцами глин, вероятно, связано с химическим составом песка, который применялся в качестве отощителя.

Анализ химического состава керамического материала южного побережья Иссык-Куля рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 и MgO исследуемые образцы древних и средневековых керамических изделий по химическому составу близки к образцам глины месторождений Ак-Сай, Согуту-Сай, Чоко-Булак и Кольцово;
- керамисты производственных центров с. Кан-Добо, поселения Кайнар и стоянки Тосор могли использовать глину из исследуемых месторождений, что указывает на местное производство.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий северного побережья Иссык-Куля. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городищ Жаркынбаево (образец №4) и Курменты (образец №14), расположенных на северном побережье Иссык-Куля, были отобраны глины с месторождений Сасык-Булак (образец №24), Кок-Тюбе (образец №25), Тюп (образец №26) и Ак-Булак (образец №27), расположенных поблизости от исследуемых объектов.

В таблице 4.6 приведены их химические составы [75, с. 199].

Таблица 4.6 - Химический состав глин с месторождений северного побережья Иссык-Куля

№ обр.	Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3	п.п.п.
24	Сасык-Булак расположен в 7,5 км от с. Жаркынбаево	44,43	13,93	5,94	10,42	2,89	2,82	1,85	10,98
25	Кок-Тюбе расположен в 15 км от с. Жаркынбаево	49,22	15,23	5,52	10,86	3,21	3,92	1,08	12,48
26	Тюп расположено в 20 км от с. Курменты	47,45	12,67	5,26	10,1	3	4,81	0,94	12,32
27	Ак-Булак расположен в 4 км от с. Курменты	49,05	14,1	5,6	10,2	2,78	3,85	0,52	10,84

Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество. Пересчет химического состава глины на прокаленное вещество проведен по формуле (8).

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Химический состав глин с месторождений северного побережья Иссык-Куля в прокаленном состоянии

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
24	Сасык-Булак	49,91	15,65	6,67	11,71	3,25	3,17	2,08
25	Кок-Тюбе	56,24	17,40	6,31	12,41	3,67	4,48	1,23
26	Тюп	54,12	14,45	6,00	11,52	3,42	5,49	1,07
27	Ак-Булак	55,01	15,81	6,28	11,44	3,12	4,32	0,58

На рисунках 4.16-4.20 представлены результаты проведенных анализов.

При исследовании химического состава глин из различных месторождений северного побережья Иссык-Куля выявлено, что образцы глины из Сасык-Булак по содержанию SO₃ в среднем превышают в 2 раза образцы глины из Ак-Булак (рис. 4.20), что свидетельствует о возможном локальном загрязнении образцов. Для остальных химических составляющих тех же образцов максимальный разброс не превышает 0,5-1 раз. Анализ исследованных химических составляющих образцов глин северного побережья Иссык-Куля показал, что кроме SO₃ они имеют регулярность и для определения сырьевой базы их можно использовать для сравнения с химическими составляющими образцов древних и средневековых керамических изделий. Исследуемые глины по содержанию Fe₂O₃ соответствуют как образцу №4, так и образцу №14 (рис. 4.16).

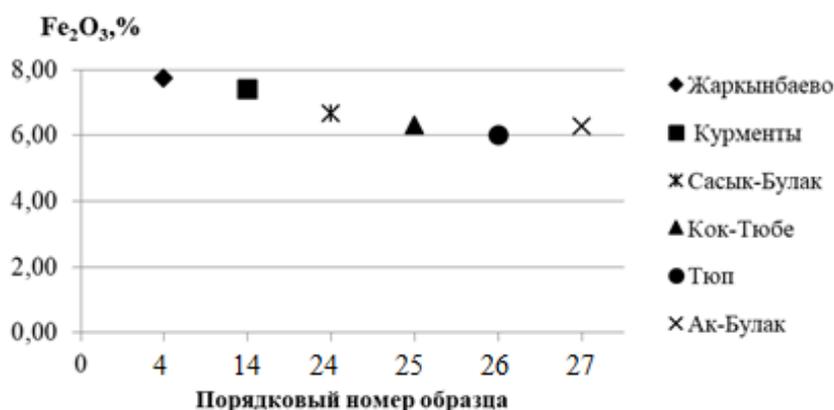


Рис. 4.16 - Процентное содержание Fe₂O₃ в образцах северного побережья Иссык-Куля

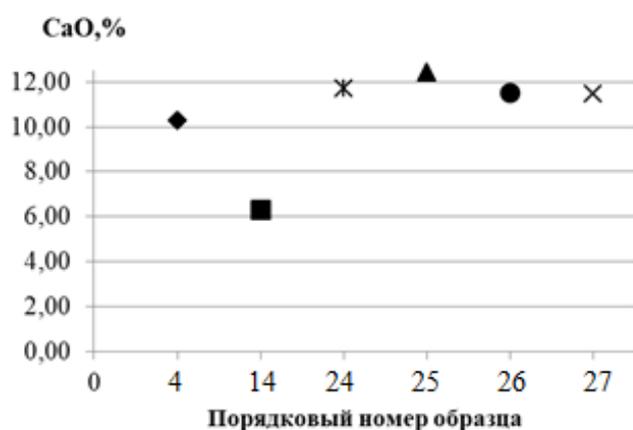


Рис. 4.17 - Процентное содержание CaO в образцах северного побережья Иссык-Куля

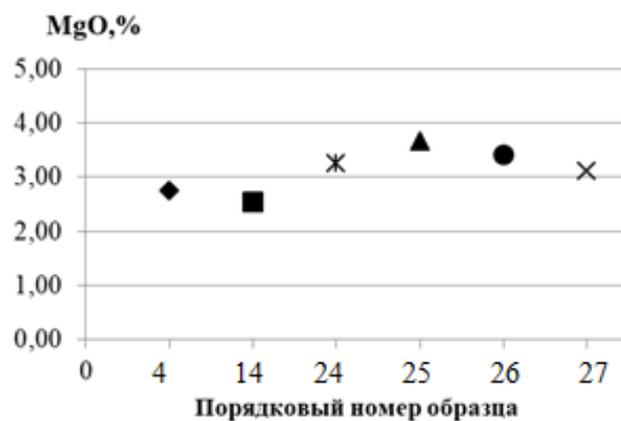


Рис. 4.18 - Процентное содержание MgO в образцах северного побережья Иссык-Куля

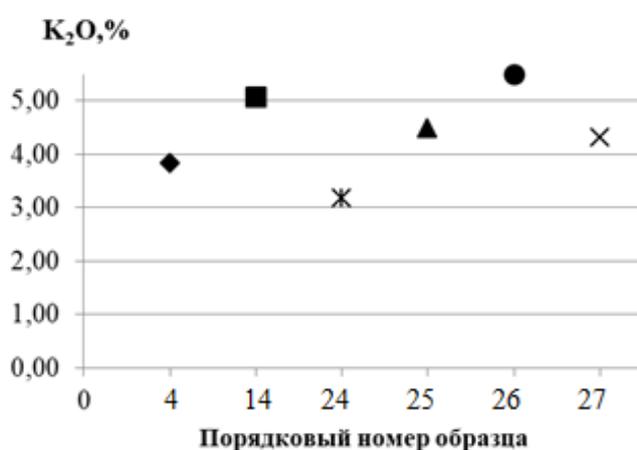


Рис. 4.19 - Процентное содержание K₂O в образцах северного побережья Иссык-Куля

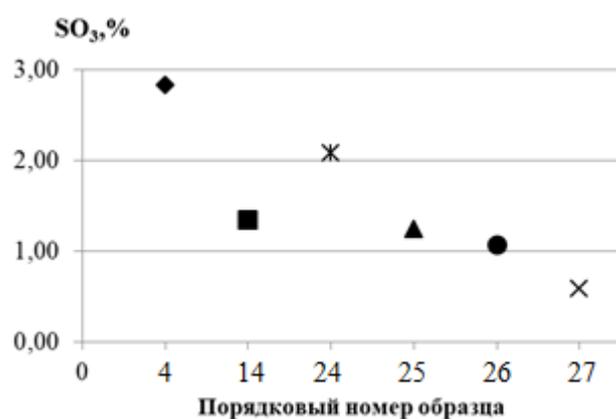


Рис. 4.20 - Процентное содержание SO₃ в образцах северного побережья Иссык-Куля

Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию CaO образец №4 из Жаркынбаево ближе всего к образцам глины из Сасык-Булак, Тюп и Ак-Булак (рис. 4.17). В тоже время образец №14 из Курменты по содержанию CaO различается от других рассмотренных образцов глины. К образцам исследуемых глин по содержанию MgO соответствуют все образцы (рис. 4.18). По содержанию K₂O образец №4 ближе всего к образцам глины Сасык-Булак, Кок-Тюбе и Ак-Булак, а образец №14 ближе всего к образцам глины Тюп, Кок-Тюбе и Ак-Булак (рис. 4.19). В тоже время содержание SO₃ в образце №4 соответствует образцам глины Сасык-Булак, а в образце №14 – образцам глины Тюп и Кок-Тюбе (рис. 4.20). Присутствие в керамических образцах более высокого содержания примесей по сравнению с образцами глин, вероятно, связано с химическим составом песка, который применялся в качестве отощителя.

Анализ химического состава керамического материала северного побережья Иссык-Куля рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию Fe_2O_3 , K_2O , CaO , и MgO исследуемые образцы древних и средневековых керамических изделий по химическому составу близки к образцам глины рассмотренных месторождений;
- керамисты производственных центров Жаркынбаево и Курменты могли использовать глину из исследуемых месторождений, что указывает на местное производство.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий Кочкорского района. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городища Эпкин (образцы №10 и 11), расположенное в 30 км от с. Кочкор, были отобраны глины с месторождений Кочкорское (образец №28), Каракокты (образец №29), расположенных поблизости от исследуемых объектов.

В таблице 4.8 приведены их химические составы [75, с. 196].

Таблица 4.8 - Химический состав глин с месторождений Кочкорского района

№ обр.	Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	п.п.п.
28	Кочкорское расположен в 26 км от с. Эпкин	51,14	15,98	5,94	7,32	2,89	3,68	10,45
29	Каракокты расположен в 3 км от с. Эпкин	48,32	14	7	11,3	4,3	1,75	11,48

Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество. Пересчет химического состава глины на прокаленное вещество проведен по формуле (8).

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 - Химический состав глин с месторождений Кочкорского района в прокаленном состоянии

№ обр.	Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O
28	Кочкорское	57,11	17,84	6,63	8,17	3,23	4,11
29	Каракокты	54,59	15,82	7,91	12,77	4,86	1,98

На рисунках 4.21-4.24 представлены результаты проведенных анализов.

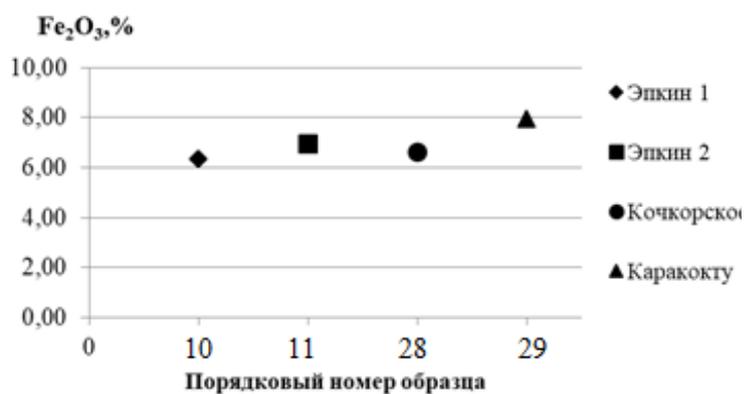


Рис. 4.21 - Процентное содержание Fe₂O₃ в образцах Кочкорского района

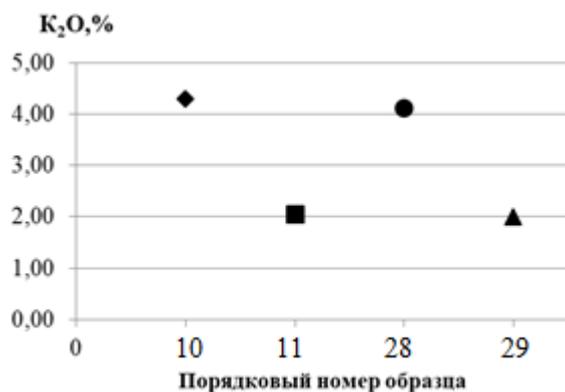


Рис. 4.22 - Процентное содержание K₂O в образцах Кочкорского района

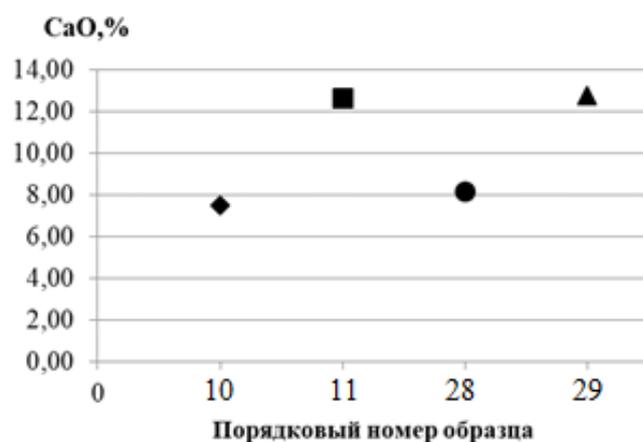


Рис. 4.23 - Процентное содержание CaO в образцах Кочкорского района

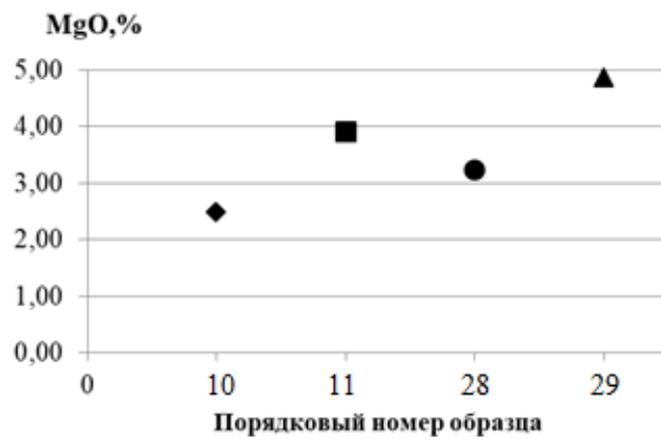


Рис. 4.24 - Процентное содержание MgO в образцах Кочкорского района

При исследовании химического состава керамических изделий из различных месторождений Кочкорского района выявлено, что разброс крайних значений для них по K₂O – в 2 раза (рис. 4.22) и CaO, MgO – в 1,5 раза (рис. 4.23 и 4.24), что вполне возможно указывает на локальное загрязнение образцов. В тоже время по Fe₂O₃ максимальное изменение составляет менее 0,5 раз (рис. 4.21). Анализ исследованных химических составляющих образцов глин Кочкорского района показал, что они имеют регулярность и для определения сырьевой базы их можно использовать для сравнения с химическими составляющими образцов средневековых керамических изделий городища Эпкин.

Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию CaO образец №10 ближе всего к образцам глины №28 из месторождения Кочкорское, а образец №11 ближе к образцу глины №29 из месторождения

Каракокту (рис. 4.23). По содержанию K_2O (рис. 4.22) ситуация аналогична с оксидом кальция CaO . Образцу глины №28 по содержанию MgO приблизительно соответствуют все исследуемые образцы, а образцу глины №29 – лишь образец №10 (рис. 4.24). По содержанию Fe_2O_3 исследуемые образцы незначительно отличаются друг от друга (рис. 4.21).

Анализ химического состава керамического материала Кочкорского района рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию K_2O , CaO и MgO исследуемый образец №10 по химическому составу близок к образцам глины месторождения Кочкорское, образец №11 – к образцам глины месторождения Каракокту, а по содержанию Fe_2O_3 – незначительно отличаются друг от друга;
- керамисты производственного центра с. Эпкин могли использовать глину как из месторождения Кочкорское, так и Каракокту, что указывает на местное производство.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий Таласской долины. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городища Садыр-Курган (образцы №13 и 16), расположенное в 10 км от с. Кызыл-Адыр, были отобраны глины с месторождений Шильбилисай (образец №30), Кара-Буура (образец №31), Ключевское (образец №32), расположенных поблизости от исследуемых объектов.

В таблице 4.10 приведены их химические составы [75, с. 186].

Таблица 4.10 - Химический состав глин с месторождений Таласской долины

№ обр.	Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	п.п.п.
30	Шильбилисай расположен в 20 км от с. Кызыл-Адыр	51,79	14,86	4,82	9,84	2,2	4	9,6
31	Кара-Буура расположен в 5 км от с. Кызыл-Адыр	49,98	13,6	5,6	10,9	3,6	4,7	9,34
32	Ключевское расположено в 20 км от с. Кызыл-Адыр	50,68	15,03	4,73	8,08	2,9	3,79	10,54

Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество. Пересчет химического состава глины на прокаленное вещество проведен по формуле (8).

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 - Химический состав глин с месторождений Таласской долины в прокаленном состоянии

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
30	Шильбилисай	57,29	16,44	5,33	10,88	2,43	4,42
31	Кара-Буура	55,13	15,00	6,18	12,02	3,97	5,18
32	Ключевское	56,65	16,80	5,29	9,03	3,24	4,24

На рисунках 4.25-4.28 представлены результаты проведенных анализов.

При исследовании химического состава глин из различных месторождений Таласской долины выявлено, что образцы глины из месторождения Кара-Буура по содержанию MgO в среднем превышают в 2 раза образцы глины из месторождения Шильбилисай (рис. 4.27), что свидетельствует о возможном локальном загрязнении образцов. Для остальных химических составляющих тех же образцов максимальный разброс не превышает 0,5 раз. Анализ исследованных химических составляющих образцов глин Таласской долины показал, что кроме MgO они имеют регулярность и для определения сырьевой базы их можно использовать для сравнения с химическими составляющими образцов древних и средневековых керамических изделий. Из проанализированных образцов керамических изделий по содержанию CaO образец №13 ближе всего к образцам глины из месторождений Шильбилисай (№30) и Ключевское (№32), а образец №16 совпадает с образцом глины из месторождения Ключевское (№32) (рис. 4.26).

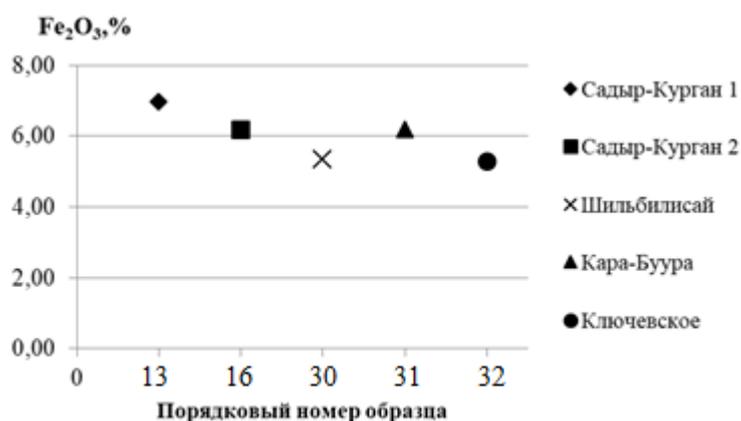


Рис. 4.25 - Процентное содержание Fe₂O₃ в образцах Таласской долины

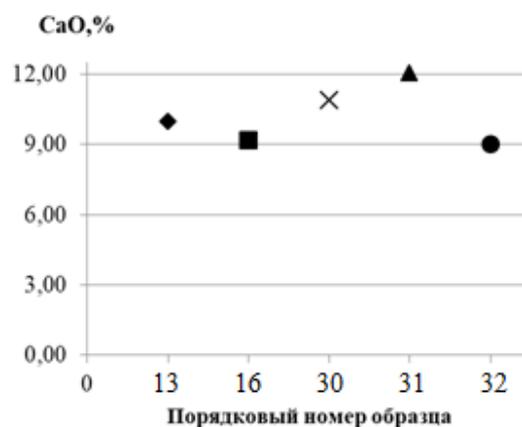


Рис. 4.26 - Процентное содержание CaO в образцах Таласской долины

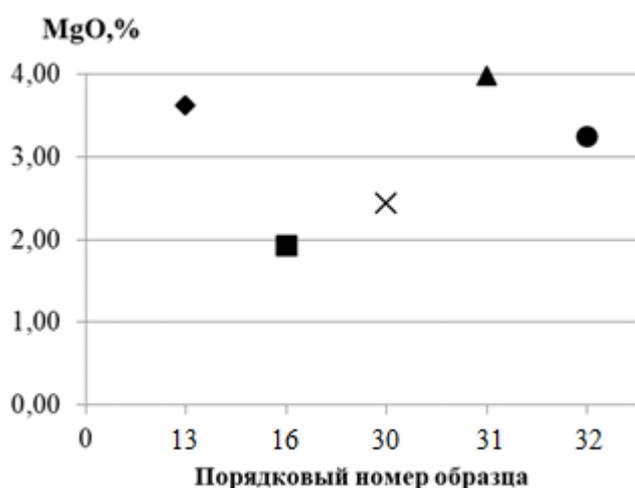


Рис. 4.27 - Процентное содержание MgO в образцах Таласской долины

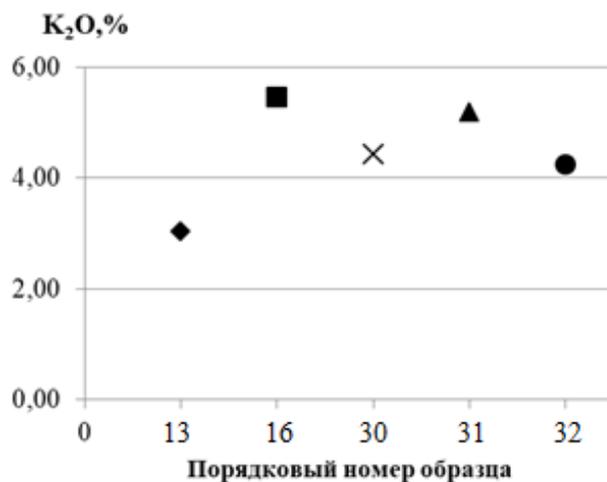


Рис. 4.28 - Процентное содержание K₂O в образцах Таласской долины

По содержанию Fe₂O₃ образец №16 совпадает с образцом глины №31 и ближе к образцам глины №30 и 32, а образец №13 – лишь к образцу глины №30 (рис. 4.25). К образцам исследуемых глин по содержанию K₂O соответствуют образец №16 (рис. 4.28). В тоже время образец №13 по содержанию K₂O незначительно различается от других рассмотренных образцов глины. По содержанию MgO образец №13 ближе всего к образцам глины №31 и 32, а образец №16 – к образцам глины №30 (рис. 4.27).

Анализ химического состава керамического материала Таласской долины рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию Fe₂O₃, K₂O, CaO и MgO исследуемые образцы средневековых керамических изделий из городища Садыр-Курган по химическому составу близки к образцам исследуемых глин;
- керамисты производственных центров городища Садыр-Курган могли использовать глину из исследуемых месторождений, что указывает на местное производство.

Выбор месторождений вероятного сырья керамических изделий Сузакского района. Для определения месторождения вероятного сырья керамических изделий городища Кызыл-Сенир (образец №9), расположенное в 17 км от г. Жалал-Абад, были отобраны глины с месторождений Жалал-Абадское (образец №33), Сузакское (образец №34), Северное (образец №35), расположенных поблизости от исследуемых объектов.

В таблице 4.12 приведены их химические составы [75, с. 178].

Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество. Пересчет химического состава глины на прокаленное вещество проведен по формуле (8).

Таблица 4.12 - Химический состав глин с месторождений Сузакского района

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
33	Жалал-Абадское расположено в 2 км от г. Жалал-Абад	49,5	9,12	5,5	13,5	3,2	4,05	0,42	12,64
34	Сузакское расположено в 5 км от г. Жалал-Абад	49,87	17,28	7,04	5,26	3,62	4,95	0,08	12,39
35	Северное расположено в 20 км от г. Жалал-Абад	50,58	11,18	4,7	12,34	2,93	3,78	0,62	13,54

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 - Химический состав глин с месторождений Сузакского района в прокаленном состоянии

№ обр.	Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
33	Джалал-Абадское	56,66	10,44	6,30	15,45	3,66	4,64	0,48
34	Сузакское	56,92	19,72	8,04	6,00	4,13	5,65	0,09
35	Северное	58,50	12,93	5,44	14,27	3,39	4,37	0,72

На рисунках 4.29-4.33 представлены результаты проведенных анализов.

При исследовании химического состава глин из различных месторождений Сузакского района выявлено, что образцы глины из месторождений Жалал-Абадское (образец №33) и Северное (образец №35) по содержанию CaO в среднем превышают в 14 раз образцы глины из месторождения Сузакское (образец №34) (рис. 4.30), а по содержанию SO₃ образцы глины №35 в среднем превышают в 7 раз образцы глины №34 (рис. 4.33). Для остальных химических составляющих тех же образцов максимальный разброс не превышает 0,5 раз. Анализ исследованных химических составляющих образцов глин Сузакского района показал, что кроме CaO и SO₃ они имеют регулярность и для определения сырьевой базы их можно использовать для сравнения с химическими составляющими образцов древних и средневековых керамических изделий.

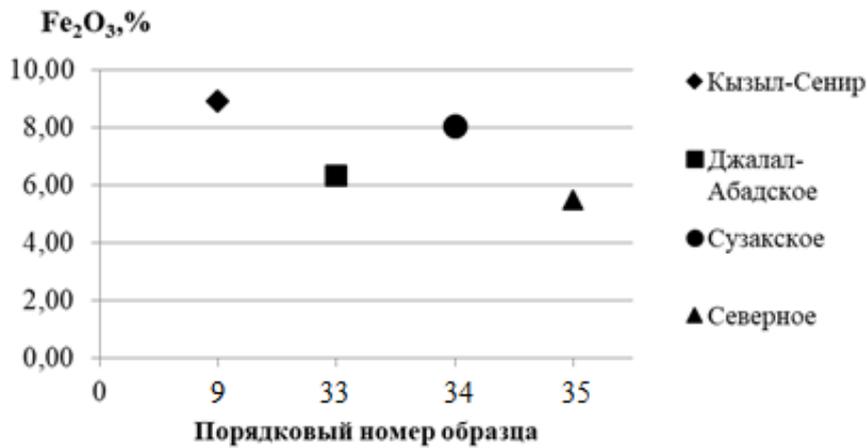


Рис. 4.29 - Процентное содержание Fe₂O₃ в образцах Сузакского района

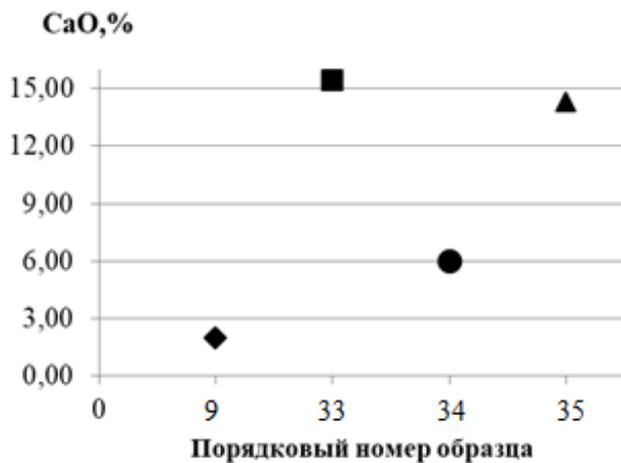


Рис. 4.30 - Процентное содержание CaO в образцах Сузакского района

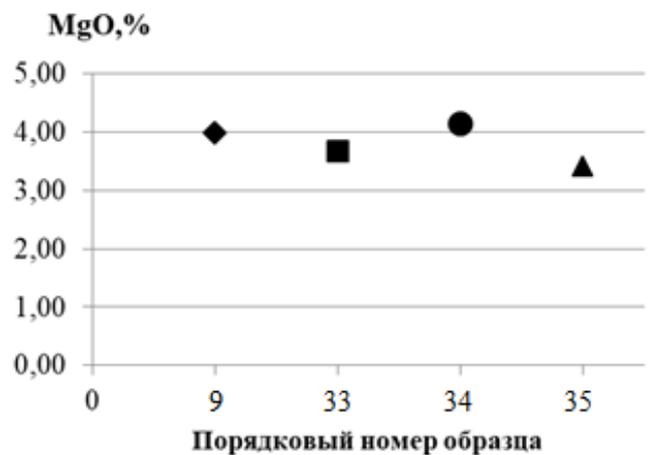


Рис. 4.31 - Процентное содержание MgO в образцах Сузакского района

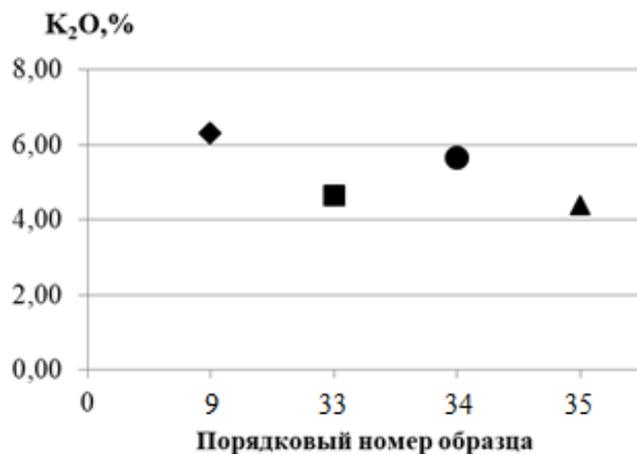


Рис. 4.32 - Процентное содержание K₂O в образцах Сузакского района

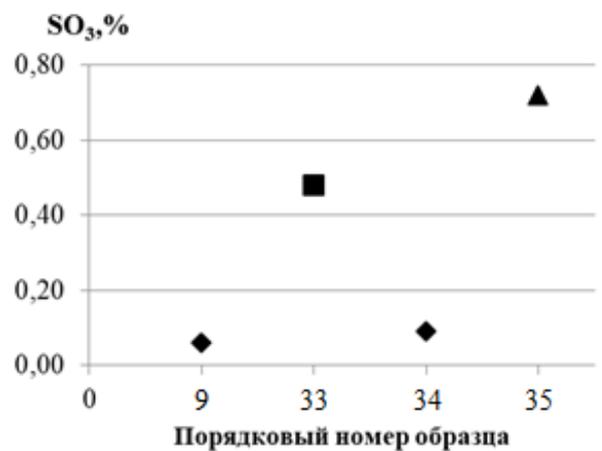


Рис. 4.33 - Процентное содержание SO₃ в образцах Сузакского района

Проанализированный образец №9 по содержанию CaO ближе всего к образцам глины №34 (рис. 4.30). В тоже время образцы №33 и 35 по содержанию CaO значительно различаются от других рассмотренных образцов глины. Исследуемый образец №9 по содержанию MgO соответствуют ко всем образцам

глин (рис. 4.31), а по содержанию K_2O – ближе всего к образцу глины №34 и незначительно отличается от других рассмотренных образцов глины (рис. 4.32). По содержанию Fe_2O_3 ситуация аналогична с оксидом калия K_2O (рис. 4.29). По содержанию SO_3 образец №9 совпадает с образцом глины №34 и значительно отличается от других рассмотренных образцов глины (рис. 4.33).

Анализ химического состава керамического материала Сузакского района рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

- по содержанию Fe_2O_3 , K_2O , CaO , SO_3 и MgO исследуемый образец №9 из средневекового городища Кызыл-Сенир по химическому составу близок к образцам глины месторождения Сузакское;
- керамисты производственного центра городища Кызыл-Сенир могли использовать глину из месторождения Сузакское, что указывает на местное производство.

Таким образом, удалось частично реконструировать сырьевую базу керамических производств древнего и средневекового Кыргызстана, в частности Чуйской и Таласской долин, южного и северного побережья Иссык-Куля, Кочкорского и Сузакского районов. Идентификация источников сырья является, как известно, одним из важнейших аспектов исследования технологии гончарства. Согласно данным, керамисты исследуемых территорий в древности и средневековье эксплуатировало местные сырьевые ресурсы, глину и отощающие материалы. Удалось установить связь отдельных памятников с конкретными источниками сырья, что представляет интерес для анализа керамического производства.

4.3. Классификация по результатам комплексного метода исследования

Классификация по степени качества керамических изделий. В работе проведена классификация различных степеней качества древних и средневековых

керамических изделий Кыргызстана. Но в связи с отсутствием единой классификации их, в основу положена классификация В.А. Борисова [21, с. 19] и результаты проведенных экспериментальных исследований:

- по степени твердости: - высокая – более 100 HR;
- средняя – 70-100 HR;
- низкая – менее 70 HR;
- по степени плотности: - высокая – более 1,91 г/см³;
- средняя – 1,71-1,91 г/см³;
- низкая – менее 1,71 г/см³;
- по степени пористости: - высокая – более 41%;
- средняя – 31-41%;
- низкая – менее 31%;
- по степени водопоглощения: - высокая – более 20%;
- средняя – 15-20%;
- низкая – менее 15%;
- по степени обжига: - низкотемпературный – 500-800°С;
- высокотемпературный – свыше 800°С.

На основании классификации выделены три типа исследуемых керамических изделий: с высоким качеством, с удовлетворительным качеством и с низким качеством. К керамическим изделиям с высоким качеством можно отнести образцы №7-10, 17, 18 с плотностью свыше 1,91 г/см³, пористостью менее 31%, степенью водопоглощения менее 15%, твердостью 70-100 HR и более, полученные высокотемпературным обжигом. К керамическим изделиям с удовлетворительным качеством можно отнести образцы №3-6, 12-16 с плотностью 1,71-1,91 г/см³, пористостью 31-40%, степенью водопоглощения 15-20%, твердостью 70-100 HR, полученные высокотемпературным обжигом. К керамическим изделиям с низким качеством относятся образцы №1, 2, 11 с твердостью менее 70 HR, плотностью менее 1,71 г/см³, степенью водопоглощения более 20%, пористостью свыше 41%, с низкотемпературным обжигом.

Классификация по размерам зерен формовочной массы. В работе проведена также классификация древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана по размерам зерен формовочных масс, в основу которой положена классификация В.А. Борисова [21, с. 23] и результаты проведенных микроскопических исследований (табл. 3.7):

- пылевидные – до 0,05 мм;
- мелкозернистые – от 0,05 до 0,25 мм;
- среднезернистые – от 0,25 до 0,5 мм;
- крупнозернистые – от 0,5 до 1 мм;
- очень крупные – свыше 1 мм.

На основании классификации выявлено, что к пылевидным относится образец №17; к мелкозернистым – образцы №11, 18; к среднезернистым – образец №9; крупнозернистым – образцы №2, 5, 10, 13, 14; к очень крупным – образцы №1, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15 (рис. 4.34). Такие различия связаны со следующими факторами:

- мастера употребляли разные сырьевые материалы;
- древние мастера не только одного керамического центра, но и каждый мастер в отдельности, имели свои технологические особенности обработки глин.

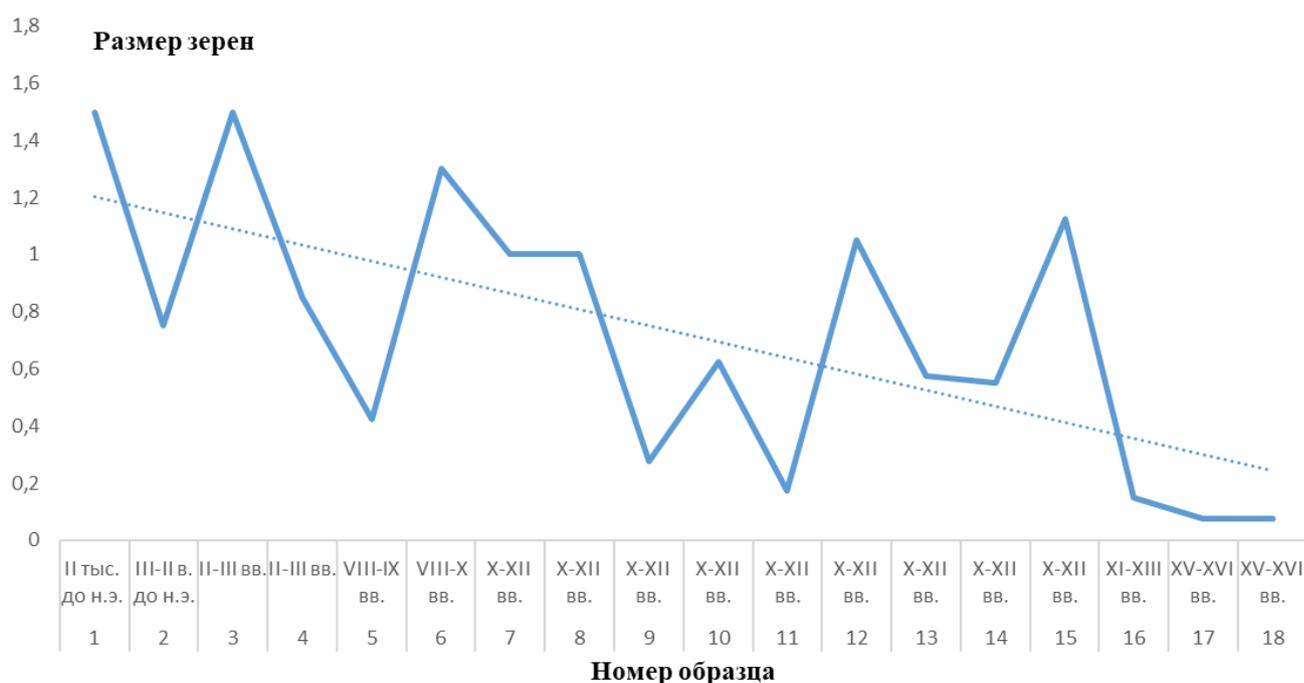


Рис. 4.34 - Динамика изменения размеров зерен формовочных масс древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана

Несмотря на эти различия, размеры зерен формовочных масс в среднем понижались с течением времени (рис. 4.34), что указывает на совершенствование мастерства гончаров, технологических процессов и их дифференциации.

Полученная классификация размеров зерен формовочных масс позволит выяснить причины выбора древними керамистами различных составляющих формовочных масс и выявить традиции изготовления керамических изделий.

4.4. Сравнительный анализ керамических производств по результатам комплексного исследования

Сравнительный анализ древних керамических производств Иссык-Кульской долины. В древний период на территории Иссык-Кульской долины среди исследуемых образцов локализуются два основных керамических центра – стоянка Тосор (образцы №1 и 3) и с. Уч-Курбу (образец №2), расположенных в долине реки Тосор, а также с. Жаркынбаево (образец №4). Керамические образцы имеют различия не только в составе обломочной части, но и степени их качества.

Среди исследуемых образцов древнего периода образец №4 по твердости (83,8 HR), по степени водопоглощения (14,66%), по плотности (1,8 г/см³), по пористости (27,54%), по температуре обжига (800-900°С) отличается высокими показателями. В составе обломочной части обнаружены: кварц, кремнистые минералы, гематит, лимонит, кальцит. После образца №4 следует образец №3, в составе которого присутствуют кварц, полевые шпаты с твердостью 61,6 HR, пористостью 30,54%, степенью водопоглощения 16,78%, плотностью 1,82 г/см³, температурой обжига 700-900°С. В составе образца №2 присутствуют полевые шпаты (микроклин), слюды (мусковит, биотит), лимонит. По пористости (43,84%), плотности (1,62 г/см³), степени водопоглощения (26,84%,) и температуре обжига (650-850 С) образец №2 ниже образцов №4 и 3. Наиболее низкими показателями

отличается образец №1, в составе которого присутствуют кальцит, полевые шпаты, кварц с твердостью 16 HR, плотностью 1,56 г/см³, степенью водопоглощения 28,41%, пористостью 44,4%, температурой обжига 500-600°C.

Сравнительный анализ образцов №1 и 2 показал, что оба образца содержат, в основном, кремнистые минералы, полевые шпаты. Физико-механические характеристики образца №2 незначительно выше образца №1. Эти данные свидетельствуют о существовании двух одинаковых технологий и одинаковых уровней производства керамики. Следовательно, можно говорить о едином керамическом центре, так как стоянка Тосор и с. Уч-Курбу расположены недалеко друг от друга. Образец №3 Тосорской керамики отличается от образцов №1 и 2 по пористости, плотности и степени водопоглощения, что объясняется совершенствованием мастерства керамистов и технологических процессов, так как образцы №1, 2 и 3 принадлежат к различным периодам: образец №1 – II тыс. до н.э., образец №2 – III-II в. до н.э., а образец №3 – II-III в.н.э.

Образцы №3 и 4 принадлежат одинаковым временным рамкам – II-III в.н.э., но у образца №3 температура обжига и физико-механические показатели ниже, чем у образца №4. Очевидно присутствие двух различных технологий, а также различных уровней керамического производства Иссык-Куля, что объясняется более высоким уровнем мастерства керамистов, а также назначением изделий.

Сравнительный анализ средневековых керамических производств Чуйской долины. В период средневековья на территории Чуйской долины среди исследуемых образцов локализуются два основных керамических центра – Краснореченское и Кокжарское городища (г. Навекат), а также башня Бурана (г. Баласагун).

В составе Краснореченских и Буранинских керамических изделий имеются кварц, кремнистые минералы, гидрослюды, но по физико-механическим характеристикам и температуре обжига Краснореченские керамические изделия имеют незначительные отличия от Буранинских.

Сравнительный анализ образцов №5 и 15 показал, что по составу, физико-механическим характеристикам и температуре обжига образцы имеют

незначительные отличия. Установлено, что состав обломочной части образца №5 состоит из кварца, кремнистых минералов, гидрослюд, гематита, лимонита. А физико-механические характеристики образца №5 следующие: твердость 90,7 HR; пористость 33,33%; степень водопоглощения 17,66%; плотность 1,88 г/см³; обжиг окислительный, низкотемпературный при 650-800°C. Образец №15 имеет следующие характеристики: состав обломочной части – кварц, гидрослюды, лимонит; твердость 91 HR; пористость 30,27%; степень водопоглощения 17,67%; плотность 1,71 г/см³; обжиг окислительный, низкотемпературный при 700-850°C. Такие различия, очевидно, связаны с тем, что образцы №5 и 15 принадлежат к различным периодам: образец №5 – к VIII-IX вв., а образец №15 – к X-XII вв.

Сравнительный анализ образцов №6, 17 и 18 Буранинского керамического центра показал, что у образца №6 температура обжига (700-850°C) и физико-механические показатели (твердость 102 HR; пористость 28,57%; степень водопоглощения 15,44%; плотность 1,85 г/см³) ниже, чем у образцов №17 и 18, что указывает на существование различных уровней производства, а также различных технологий. Такие различия объясняются более высоким уровнем мастерства керамистов, а также назначением изделий. Образцы №17 и 18 покрыты глазурью и росписью и имеют высокие физико-механические характеристики, которые незначительно отличаются. Так, твердость (110 HR), плотность (2,06 г/см³) и температура обжига (1000-1200°C) образца №17 выше твердости (106,7 HR), плотности (1,91 г/см³) и температуры обжига (900-1000°C) образца №18, а пористость (20,29%) и степень водопоглощения (9,85%) образца №17 ниже пористости (24,09%) и степени водопоглощения (12,59%) образца №18.

Образец №12 из с. Кок-Жар содержит признаки керамических традиций и Краснореченского, и Буранинского керамических производств. Присутствующие в составе образца №12 кварц и гидрослюда сближают его и с Краснореченскими, и Буранинскими изделиями, а по твердости (100,7 HR), пористости (31,7%), степени водопоглощения (16,09%), плотности (1,87 г/см³) и температуре обжига (850-900°C) он аналогичен керамическим традициям Краснореченских керамических изделий.

Сравнительный анализ средневековых керамических производств Таласской и Кочкорской долин. Анализ керамического производства городища Садыр-Курган (г. Шельджи) Таласской долины показал, что образцы №13 и 16 схожи по твердости, температуре обжига и составам формовочных масс. Оба образца покрыты глазурью и росписью. Но по пористости, плотности и степени водопоглощения они немного отличаются. Так, образец №13 имеет в составе обломочной части полевой шпат (ортоклаз), слюды, гидрослюды, кальцит, гематит, лимонит с твердостью 110,5 HR; степенью водопоглощения 27,39%; плотностью 1,79 г/см³; пористостью 39,18%; окислительным, высокотемпературным обжигом при 800-900°C. В составе образца №16 присутствуют кремнистые минералы, слюды, гидрослюды, лимонит, кальцит, полевые шпаты, кварц с твердостью 110,5 HR; пористостью 32,07%; степенью водопоглощения 17,63%; плотностью 1,82 г/см³; обжигом окислительным, высокотемпературным при 800-850°C. Различия по пористости, плотности и степени водопоглощения объясняются совершенствованием мастерства керамистов и технологических процессов, так как образцы №13 и 16 принадлежат к различным периодам: образец №13 – к X-XII вв., а образец №16 – к XI-XIII вв.

Сравнительный анализ средневековых керамических изделий из с. Эпкино показал, что образцы №10 и 11 по составу обломочной части мало отличаются. В составе обломочной части образца №10 обнаружены кварц, кремнистые минералы, слюды, гидрослюды; образца №11 – кремнистые минералы, кварц, карбонат, слюды. Следовательно, можно говорить о едином керамическом центре. По степени качества образцы существенно различаются. У образца №10 физико-механические характеристики выше: твердость 108 HR; плотность 1,93 г/см³; степень водопоглощения 14,99%; пористость 30,01%; температура обжига 1000-1200°C. Показатели образца №11 ниже: твердость 76 HR; плотность 1,67 г/см³; степень водопоглощения 23,63%; пористость 39,58%; температура обжига 600-700°C. Такое различие объясняется различным уровнем мастерства керамистов, а также назначением изделий.

Сравнительный анализ средневековых керамических производств Иссык-Кульской долины. В период средневековья на территории Иссык-Кульской долины, как показал анализ исследуемых образцов, локализуются два основных керамических центра – городища Кан-Добо и Кайнар, а также Курменты.

По физико-механическим характеристикам, минералогическому составу, температуре обжига керамические изделия из Кан-Добо (образец №7) и Кайнар (образец №8) мало отличаются друг от друга. Оба образца содержат, в основном, кварц, кремнистые минералы, полевые шпаты. Сравнительный анализ образцов №7 и 8 показал, что у образца №8 температура обжига (850-950°C) и физико-механические показатели (твердость 113,6 НР; плотность 1,89 г/см³; степень водопоглощения 14,53%; пористость 27,5%;) незначительно выше образца №7 (твердость 112,2 НР; плотность 1,91 г/см³; степень водопоглощения 14,72%; пористость 28,24%; температура обжига 900-1000°C), что указывает на существование одинаковых уровней производства, а также одинаковых технологий. Следовательно, можно говорить о едином керамическом центре, так как городища Кан-Добо и Кайнар расположены недалеко друг от друга.

Образец №14 из поселения Курменты отличается от образцов №7 и 8 относительно низкими физико-механическими характеристиками (твердостью 103,6 НР; плотностью 1,85 г/см³; степенью водопоглощения 18,43%; пористостью 34,2%;), составом обломочной части (гидрослюда, периклаз, оливин, гематит, лимонит) и температурой обжига (800-900°C). Такие различия объясняются присутствием нескольких керамических центров в Иссык-Кульской долине, население которой с древних времен было представлено разными народами, что и нашло отражение в особенностях керамического производства и свойствах глиняной продукции.

На основании вышеизложенных исследований выявлено, что в период средневековья керамическое производство Иссык-Кульской долины продолжало керамические традиции, заложенные в древности. Одновременно в керамическом производстве появляются тенденции, которые характеризуют новые подходы к технологии изготовления керамических изделий.

В целом, при сравнительном анализе керамических изделий выявлены общие направления развития керамического производства Кыргызстана рассматриваемого периода. Так, плотность средневековых керамических изделий Чуйской и Иссык-Кульской долин в среднем равна $1,88 \text{ г/см}^3$, что позволяет выделить общее направление в их производстве: повышение температурного режима обжига. Не только температура обжига, но и твердость исследованных образцов в среднем со временем повышается (рис. 3.2 и 4.1), что указывает на совершенствование мастерства керамистов и технологических процессов. В тоже время качество керамических изделий зависело от назначения изделий. Как показывают исследования, обычные керамические изделия были ниже качеством по физико-механическим характеристикам, чем глазурированные, характеризующиеся более высоким уровнем физико-механических показателей. Сочетание разных технологических традиций в пределах одного керамического центра является подтверждением многонационального состава Кыргызстана.

Таким образом, по результатам микроскопического анализа и физико-механических исследований образцов керамических изделий выявлены различные керамические центры, отличающиеся составом сырья, технологическими способами изготовления. Особенности состава керамического теста, а также физико-механические характеристики позволили идентифицировать керамические изделия Кыргызстана различных временных периодов.

4.5. Взаимосвязь физико-механических свойств, микроструктуры и температуры обжига

Взаимосвязь физико-механических свойств от микроструктуры. Для выявления взаимосвязи микроструктуры и свойств керамических изделий Кыргызстана были проанализированы образцы различных периодов: от II тысячелетия до н.э. до X-XII вв. Полученные по РЭМ-изображениям такие

морфометрические и геометрические свойства микроструктуры, как общий периметр P и площадь S пор (табл. 3.6), согласовывались с водопоглощением, удельной поверхностью, кажущей плотностью и открытой плотностью (табл. 3.2) (рис. 4.35).

На основе литературных данных о взаимной связи между минеральной составляющей и размерами структуры глинистых пород [137, с. 125] можно предположить присутствие взаимной связи между физико-механическими свойствами и структурой пор, которая исследована ниже.

Одним из важных параметров является общий периметр пор, который отражает их удельную поверхность. Для проверки этого предположения построен график (рис. 4.35, а), согласно которому установлено, что увеличение общего периметра пор P приводит к увеличению удельной поверхности S_o керамических образцов, то есть имеется прямая связь, которая может быть задана уравнением:

$$S_o = 1,149 P + 1,113 \quad (9).$$

Принимая во внимание, что удельная поверхность пор прежде всего характеризует способность керамических изделий впитывать влагу, построен график зависимости водопоглощения B от общей площади пор S (рис. 4.35, б), из которого следует, что с уменьшением общей площади пор уменьшается водопоглощение, то есть имеется прямая связь, которая может быть задана уравнением:

$$B = -2,162S + 25,102 \quad (10).$$

Такая зависимость $B=f(S)$ доказывает предположение об использовании значения общей площади пор как характеристики водопоглощения керамических изделий.

Другим важным показателем керамических изделий служит их плотность, которую определяет не только ее минеральный состав, но и пористость. Согласно литературным и экспериментальным исследованиям существует обратная зависимость между ρ_k и P_o . Для подтверждения этого предположения построен график зависимости кажущейся плотности ρ_k от общей площади пор S , которая функционально связана с пористостью керамических изделий (рис. 4.35, в).

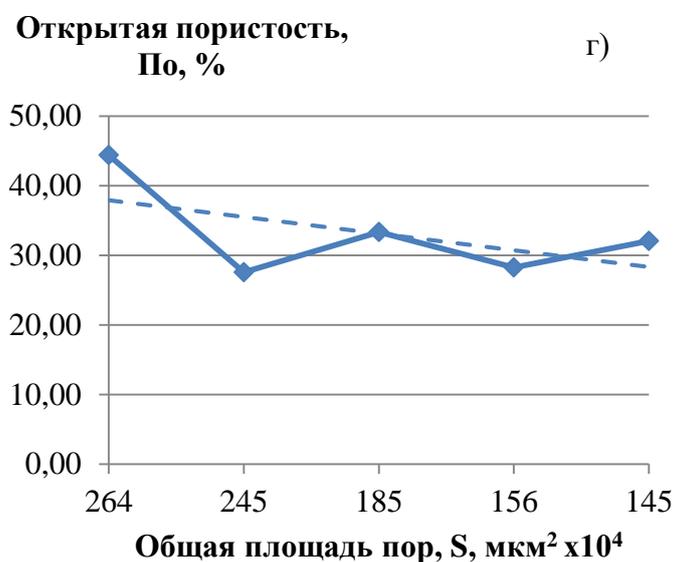
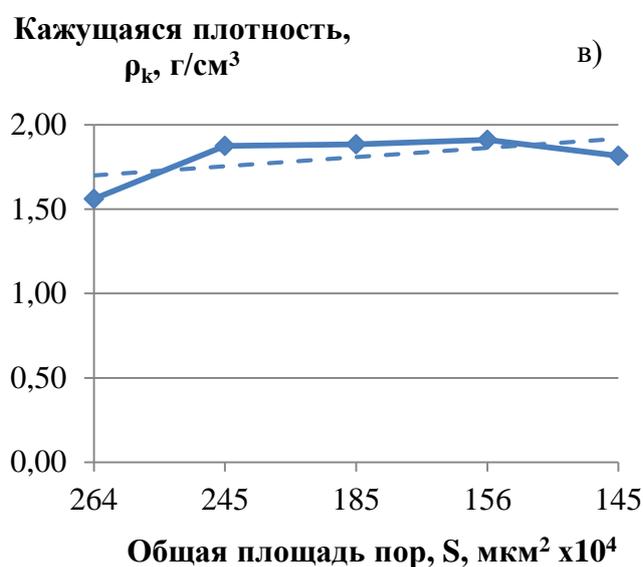
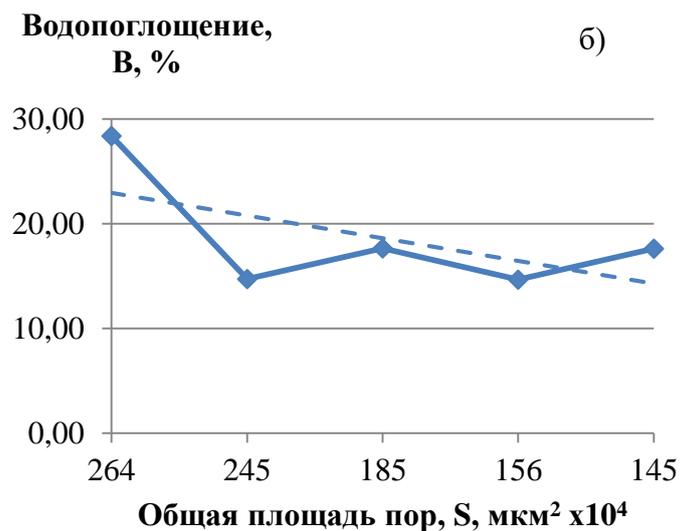
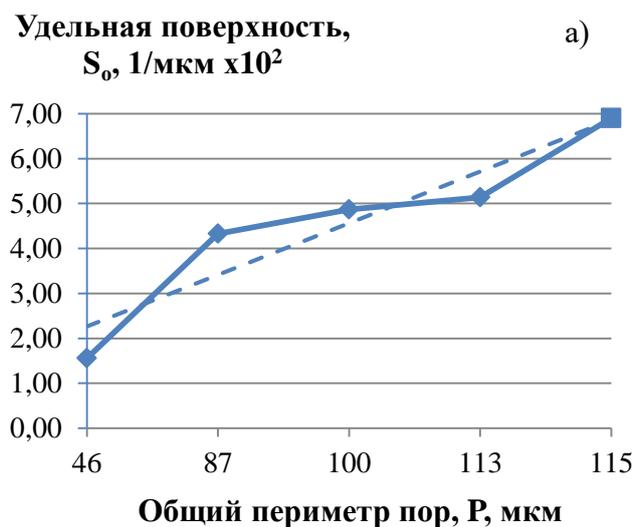


Рис. 4.35 - Графики зависимости между параметрами:
 а – удельной поверхностью S_o и общим периметром пор P ; б – водопоглощением B и общей площадью пор S ; в – кажущейся плотностью ρ_k и общей площадью пор S ;
 г – открытой пористостью Π_o и общей площадью пор S

Как видно из графика, с уменьшением площади пор увеличивается кажущаяся плотность, т.е. существует обратная зависимость между ρ_k и S , которая может быть задана уравнением:

$$\rho_k = 0,0546S + 1,6452 \quad (11).$$

От общей площади пор S зависит также открытая пористость Π_o керамических изделий (рис. 4.35, г). Установлено, что с уменьшением общей площади пор снижаются значения открытой пористости керамических изделий.

Следовательно, имеется прямая зависимость, которая может быть задана уравнением:

$$P_o = -2,396S + 40,305 \quad (12).$$

Из графиков зависимости удельной поверхности S_o от общего периметра пор P , а также зависимости кажущейся плотности ρ_k , водопоглощения B и открытой пористости P_o от общей площади пор S видно, что в рассмотренных случаях имеется взаимная связь между физико-механическими свойствами керамических изделий и характером их порового пространства. Наличие такой связи позволяет ставить вопрос о возможном использовании выведенных уравнений (9-12) для расчета удельной поверхности, водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности по данным количественного анализа РЭМ-изображений.

Взаимосвязь физико-механических свойств и температуры обжига. Обжиг используется, чтобы преобразовать глину в твердое изделие, которое не подвергается влиянию воды [95, с. 176]. Кристаллизационные и физико-химические процессы, происходящие при обжиге глины, влияют на физико-механические свойства, что отражается на твердости, пористости и водопоглощении. Поэтому исследование изменений твердости, пористости и водопоглощения керамических изделий при обжиге дает возможность выявить области, в которых происходят физико-химические и кристаллизационные процессы. Построенные графики зависимости изменения твердости, пористости и водопоглощения от температуры позволяют проследить эти процессы (рис. 4.36).

Анализ экспериментальных данных, приведенных рисунке 4.36, а, показывает, что между характером изменения водопоглощения и повышением температуры обжига имеется обратная зависимость, которая может быть задана уравнением (13). С повышением температуры снижается водопоглощение, так как с увеличением температуры кристаллизуются высокотемпературные кристаллические фазы, которые оказывают влияние на образование проницаемости пор.

$$B = -0,671t + 24,164 \quad (13).$$

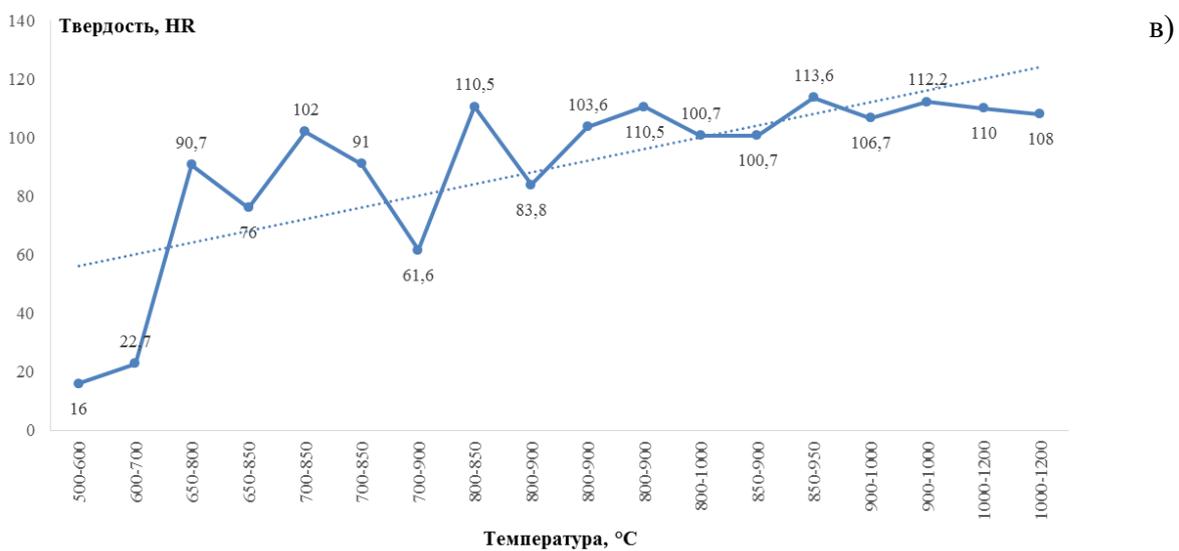
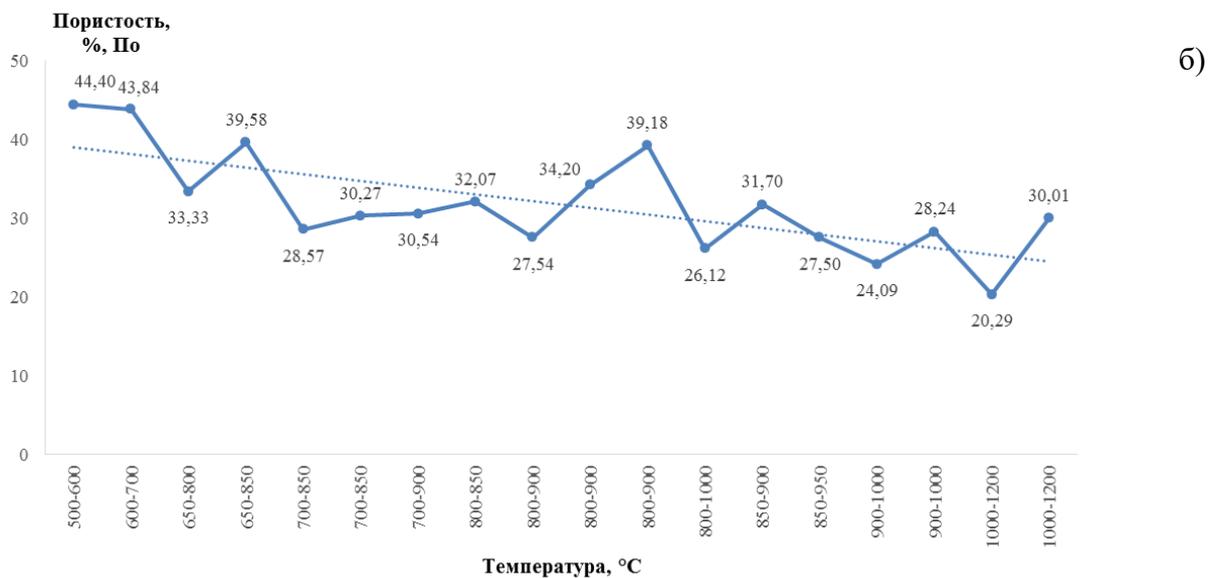
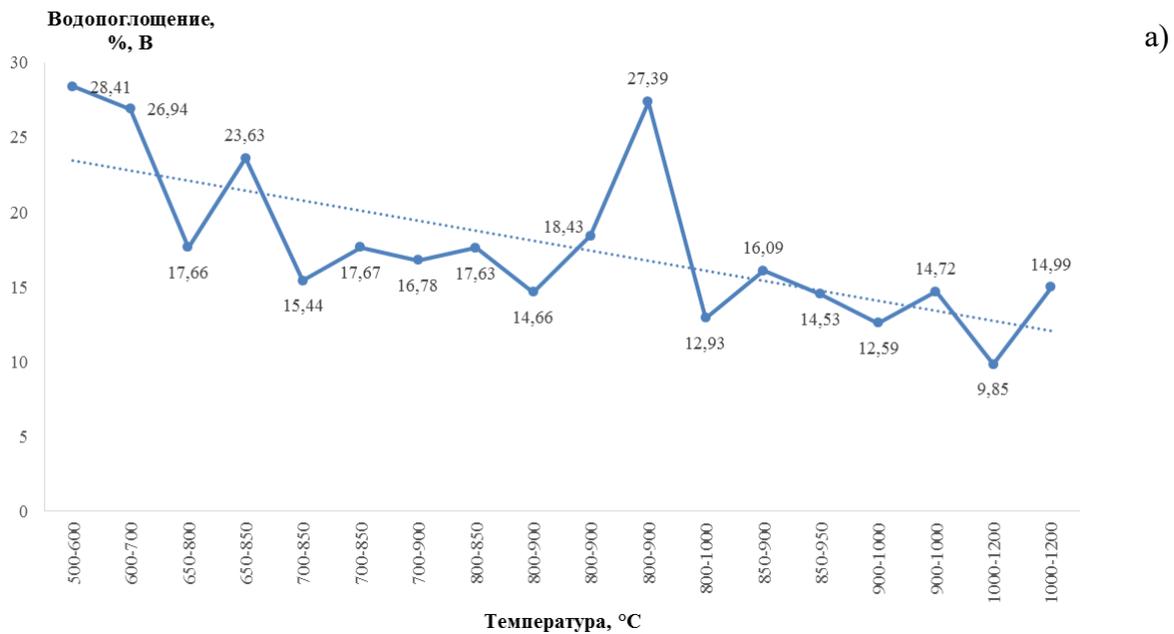


Рисунок 4.36 - Динамика изменения физико-механических характеристик древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана в зависимости от температуры обжига: а – водопоглощения, б – пористости, в – твердости.

В тоже время при повышении температуры образуется жидкая фаза, которая заполняет мелкие поры. Это также обуславливает снижение степени водопоглощения.

На рисунке 4.36,б приведена зависимость изменения пористости от температуры обжига. Характерно, что прямолинейному снижению пористости соответствует повышение температуры обжига, то есть имеется обратная зависимость, аналогичная водопоглощению, которая может быть задана уравнением:

$$P_o = -0,855t + 39,87 \quad (14).$$

При повышении температуры снижается вязкость глины, что приводит к уменьшению диаметра пор.

На рисунке 4.36,в приведен график зависимости изменения твердости от температуры обжига. Экспериментальные исследования показали, что в образце №1, восходящему ко II тысячелетию до н.э., твердость достигает 16 HR при температуре обжига керамики 500-600°C. В процессе исторического развития технологии производства процесс обжига совершенствуется, и к средневековью температура обжига достигает до 1000-1200°C. При этом твердость увеличивается и доходит до 113 HR (образец №14). Следовательно, существует прямая зависимость между твердостью керамических изделий и температурой обжига:

$$HR = 4,003t + 51,994 \quad (15).$$

Таким образом, на основе анализа графиков зависимости твердости, пористости и водопоглощения от температуры обжига установлено, что существует очень тесная связь между физико-механическими свойствами керамических изделий и температурой обжига. Наличие такой связи позволяет ставить вопрос о возможном использовании выведенных уравнений (13-15) для расчета водопоглощения, открытой пористости и твердости по значениям температуры обжига.

Выводы по главе 4

В Кыргызстане в наше время при исследовании керамических производств отсутствует комплексный подход к оценке значимости физико-механических и физико-химических характеристик керамических изделий в традициях и технологиях, которые существовали в республике в рассматриваемом периоде. Отсутствует перечень характеристик обязательного исследования керамических изделий: многие ученые изучают одно свойство керамических изделий. Разрозненные методы обычно позволяют получить одну технологическую информацию; не проведена реконструкция влияния разных методов и приемов на глинистый материал при изготовлении керамических изделий, с помощью которых создавались их различные характеристики.

В связи с этим в данной главе предложен и апробирован комплекс исследований керамических артефактов с целью реконструкции технологий древних и средневековых керамических производств Кыргызстана: определения температуры обжига по результатам микроскопического, рентгенофазового анализов и твердости; идентификации источников сырья по результатам рентгенофлуоресцентного анализа; классификации керамических артефактов Кыргызстана, позволяющая провести сравнительный анализ керамических производств на различных этапах их существования; проведения сравнительного анализа керамических производств на различных этапах их развития; исследования взаимосвязи микроструктуры и физико-механических свойств керамических артефактов; исследования зависимости изменения твердости, пористости и водопоглощения от температуры.

В результате комплексного исследования образцов древних и средневековых керамических изделий в Кыргызстане впервые в истории керамического производства проведена его реконструкция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Множество керамических изделий, обнаруженных в археологических памятниках на территории современного Кыргызстана, свидетельствует об особенностях развития одного из основных производств – керамического, и являются ценным материалом по изучению истории, экономики и культуры древнего и средневекового Кыргызстана. Поэтому керамические изделия представляют большой интерес как один из основных источников по истории народов, проживавших на территории Кыргызстана. Для изучения керамических производств требуется их историческая реконструкция, что предполагает проведение комплексных физико-химических и физико-механических исследований, которые прежде не проводились. Разработанный в диссертации комплексный подход на основе взаимодополняющих современных методов исследования дал возможность получить физико-механические и физико-химические характеристики керамических изделий, определить их температуру обжига, исследовать глазури, установить источники вероятной сырьевой базы, провести сравнительный технико-технологический анализ и сравнительный анализ по полученным результатам исследований и выявить общие направления развития керамического производства в Кыргызстане.

Большая часть отечественных работ, которые посвящены изучению керамических изделий, обнаруженных в производственных центрах, представляют собой исследования общеисторического или историко-археологического характера, не связанные с историко-техническим исследованиями. На наш взгляд, такой подход ограничивает возможности системного анализа истории развития керамического производства Кыргызстана на фоне общего исторического развития. Это вызвано прежде всего тем, что технологические особенности керамического производства разных областей и времен с применением разнообразных современных методов исследования

изучены наиболее слабо. Установлено, что работа, основанная на конкретных анализах исследуемого материала современными методами, сопоставление данных исследования физико-химических и физико-механических свойств керамического материала различных центров позволила составить историческую схему развития керамического производства Кыргызстана.

Для получения полной информации о керамическом производстве в работе приведен анализ керамических центров, расположенных на территории Кыргызстана, на основании которого создана информационная база, которая включает несколько направлений:

- определение этапов развития древнего и средневекового керамического производства на территории Кыргызстана;
- обоснование выделения отдельных керамических центров: Таласской, Чуйской, Иссык-Кульской и других;
- датирование керамических изделий;
- решение вопроса, на местной ли основе развивалось производство или практиковался импорт сырьевых материалов.

В работе на основе современных методов выработан комплексный подход исследований, соответствующий поставленным задачам, который состоит из взаимодополняемых методов: оптической и растровой электронной микроскопии; рентгенофлуоресцентного анализа; рентгенофазового анализа; технических испытаний на твердость по Роквеллу; метода гидростатического взвешивания. Для каждого из методов отработан алгоритм проведения анализа для получения количественных данных, которые помогли выяснить ряд важных технологических особенностей и реконструировать технологию древнего и средневекового керамического производства Кыргызстана. Исследования могут также дать основания для сравнения керамических центров разных областей, так как результаты анализа образцов керамических изделий зачастую являются одним из основных аргументов в изучении керамических производств.

В работе изучены физико-механические показатели керамических артефактов, такие как водопоглощение, пористость, плотность и твердость. Одним из основных

показателей является пористость, которая способствует получению информации о качестве сырья, способах его обработки. Установлено, что к средневековью общий показатель пористости керамических изделий Кыргызстана в среднем со временем снижается. Это указывает не только на совершенствование мастерства гончаров, но и на совершенствование способов изготовления. Водопоглощение, как и пористость керамических изделий разного времени, в среднем со временем понижается, что указывает на изменение или введение новых приемов их изготовления, а также на обработку глинистого сырья различными способами, такими как измельчение, просеивание, вымачивание и вымораживание. Усовершенствование методов обработки глины способствовало постепенному увеличению показателя плотности керамических изделий. Измерение твердости керамических изделий Кыргызстана показало, что твердость, как и плотность, в среднем со временем повышается, что указывает на повышение температуры обжига и совершенствование технологических процессов.

В работе исследованы физико-химические показатели керамических изделий, такие как химический состав, характер высокотемпературных новообразований, микроструктура. Исследование химического состава керамического материала рентгенофлуоресцентным анализом позволяет сделать ряд выводов:

1. Выявлено отличие глиняной массы черепка не только цветом, внешним видом, но и структурой и составом. Различия эти связываются с разными сырьевыми материалами и технологическими особенностями обжига и обработки глин.
2. Установлено использование различных по составу, качеству и характеру глиняных масс мастерами одного керамического центра. Выявлено использование лессов, лессовидных суглинков, различных видов легкоплавких глин, огнеупорных, светложгущихся и железистых (для ангобов) глин при изготовлении керамических изделий кыргызскими мастерами.
3. Выявлено до 25 микроэлементов в кыргызской керамике. Обнаружено, что в составе ее материала постоянно присутствуют такие элементы, как титан, марганец, барий, цирконий, ванадий, стронций, рубидий, цинк и хром. Это элементы, которые содержатся в почве тех районов, где обнаружены керамические изделия, что, в свою очередь, указывает на локальную особенность.

Изучение химического состава черепка различных изделий позволило констатировать существование хорошо разработанной, обоснованной технологии подготовки сырья, выявить ряд технологических приемов и особенностей этой технологии и их взаимосвязь.

В работе также исследован характер высокотемпературных новообразований с использованием рентгенофазового анализа. Наличие или отсутствие тех или иных кристаллических фаз определяют как характер минерального состава используемых глин, так и степень ее температурного преобразования. Использование РФА позволило более достоверно воссоздать условия древнего и средневекового керамического производства Кыргызстана и определить температуру обжига.

Для определения многих свойств исследованы не только химический и минералогический состав, но и микроструктура древних и средневековых керамических изделий, в которой заложена информация о размере и форме глинистых частиц, об их прочности, об условиях формирования глины благодаря сочетанию разных геометрических, морфометрических и энергетических признаков.

Для получения максимально возможной информации о микроструктуре керамических изделий образцы исследованы с помощью оптической микроскопии и растровой электронной микроскопии (РЭМ). С помощью анализа РЭМ-изображений по малым размерам образцов определены количественные показатели микроструктуры, установлены тип микроструктуры, выявлены особенности микроструктуры, и, прежде всего, особенности порового пространства, которые являются основой специфических прочностных и деформационных свойств керамических изделий.

По результатам микроскопического исследования установлено:

- глиняные массы, предназначенные для изготовления изделий, тщательно обрабатывались с учетом их назначения;
- качество обработки глиняной массы было различным для изделия одного вида в одном керамическом пункте.

Результаты микроскопического исследования отражают в определенной степени поступательное развитие технологии керамического производства, совершенствуется технология приготовления формовочной массы. Появляются новые рецепты количественного состава керамического теста, соответствующие новым, механическим способам формовки. Увеличение доли пластичной фракции в формовочной массе положительно влияет на структуру керамических изделий: уменьшается пористость, повышается пластичность.

Среди исследуемого материала имеются глазурованные изделия X-XVI вв., которые являются важным источником информации о развитии керамического производства в Кыргызстане. Создание глазури, приемов глазурования и росписи относится не только к истории развития техники, но и изменениям в экономике средневекового керамического производства. Поэтому в работе проведены комплексные исследования состава глазурей, которые способствовали накоплению знаний о технологии керамического производства и имеют значение для проведения реставрационных работ и сохранения объектов культурного наследия в Кыргызской Республике в настоящее время (приложение 1).

Исследование глазури керамического материала, изучение средневековых источников и этнографических материалов позволили прийти к следующим выводам:

1. Мастера использовали как свинцовые глазури с большим содержанием свинца, так щелочные глазури с большим содержанием натрия, кальция и калия. В свинцовых глазурях выделены два типа: свинцово-силикатные и свинцово-кальциевые.
2. В глазурях соотношение ведущих компонентов было неодинаковым. Оно зависело, очевидно, от рецептов разных мастеров.
3. В одном и том же центре встречаются варианты, связанные с наличием или отсутствием тех или иных элементов, т.е. с разным сырьем, используемым в одно или разное время. Присутствие таких элементов, как титан, барий, цирконий, стронций, рубидий и т.д. указывает на локальную особенность.

4. В качестве основных красителей красок росписи и глазури в керамических изделиях X-XVI вв. на территории Кыргызстана использованы хром, медь, железо, марганец, которые в разном количестве и различных вариантах приготовления давали основные цвета красок росписи и окраски глазури.

Исследование глазурей показало, что красители керамических изделий на территории Кыргызстана не отличаются от красителей других различных районов на территории Средней Азии.

Таким образом, с помощью комплексного подхода исследования современными методами получены объективные результаты, позволяющие получить сведения, которые невозможно получить другим путем. Это касается определения температуры обжига и месторождений вероятного сырья.

Предложен и апробирован комплекс исследований на образцах древних и средневековых керамических изделий для определения температуры обжига. Предложено рациональное использование результатов микроскопического, рентгенофазового анализов и твердости для определения температуры обжига. Исследования показали, что результаты микроскопического и рентгенофазового анализов образцов дополняют друг друга и показывают сопоставимость, а также соответствуют результатам твердости.

Согласно исследованиям древнего и средневекового керамического материала Кыргызстана, подъем рабочей температуры был сложным и многопланово обусловленным процессом. В древности в качестве рабочей температуры использованы температуры 550-650°, достаточные для образования черепка. Хотя для отдельных древних образцов керамики отмечается порой довольно высокая температура обжига до 900°C, в то время как для средневековых изделий в период, когда был технически освоен температурный предел порядка 1000-1200°C, известны образцы, обожженные и при температуре 650-750°C.

Определенная высота температуры выступала одним из активных факторов прогресса технологии обжига. Усложнялся режим обжига в целом, увеличивались возможности его регулирования, появлялись различные усложненные варианты его. Процесс обжига совершенствовался, во-первых, за счет появления

специальных приемов, их дифференциации, во-вторых, за счет освоения высокотемпературных печей.

В работе проведена идентификация источников сырья, которое является одним из важнейших аспектов исследования технологии гончарства. Для решения вопроса о происхождении керамических изделий использованы результаты рентгенофлуоресцентного анализа. При этом параллельно проводилось изучение образцов глин из предполагаемых древних карьеров, которые расположены поблизости к изучаемому объекту. Для облегчения сравнения химические составы глин пересчитаны на прокаленное вещество.

По результатам исследования установлено:

- по содержанию Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , ZrO_2 , SrO и MgO исследуемые образцы по химическому составу близки к изучаемым образцам глин из их предполагаемых месторождений;
- керамисты исследуемых центров могли использовать глину из изучаемых месторождений, что указывает на местное производство.

Таким образом, частично реконструирована сырьевая база керамического производства древних и средневековых культур Чуйской, Иссык-Кульской и Таласской долин, Кочкорского и Сузакского районов. Решение вопроса, на местной ли основе развивалось производство или практиковался импорт сырьевых материалов, а возможно, и готовой продукции имеет существенное значение для керамических центров исследуемых регионов.

В работе проведена классификация по различным степеням качества древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана на основе результатов экспериментальных исследований. На основании классификации выделены три типа исследуемых керамических изделий: с высоким качеством, с удовлетворительным качеством и с низким качеством. К керамическим изделиям с высоким качеством можно отнести образцы №7-10, 17, 18 с плотностью свыше $1,90 \text{ г/см}^3$, пористостью менее 30%, степенью водопоглощения менее 15%, твердостью 70-100 HR и более, высокотемпературным обжигом. К керамическим изделиям с удовлетворительным качеством можно отнести образцы №3-6, 12-16 с

плотностью 1,70-1,90 г/см³, пористостью 30-40%, степенью водопоглощения 15-20%, твердостью 70-100 HR, высокотемпературным обжигом. К керамическим изделиям с низким качеством относятся образцы №1, 2, 11 с твердостью менее 70 HR, плотностью менее 1,71 г/см³, степенью водопоглощения более 20%, пористостью свыше 41%, низкотемпературным обжигом.

В работе проведен также анализ исследованных керамических изделий. При сравнительном их анализе выявлены общие направления развития керамического производства Кыргызстана рассматриваемого периода. Так, плотность средневековой керамики Чуйской и Иссык-Кульской долин в среднем равна 1,88 г/см³, что позволяет выделить общее направление в их производстве: повышение температурного режима обжига. Не только температура обжига, но и твердость исследованных центров в среднем повышается со временем, что указывает на совершенствование мастерства гончаров, технологических процессов. В тоже время качество керамических изделий зависело от их назначения. Как показывают исследования, обычные керамические изделия были ниже качеством по физико-механическим характеристикам, чем глазурированные, характеризующиеся более высоким уровнем физико-механических показателей. Сочетание разных технологических традиций в пределах одного керамического центра является подтверждением многонациональности населения Кыргызстана.

В работе исследована взаимосвязь микроструктуры и физико-механических свойств древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана. Полученные по РЭМ-изображениям морфометрические и геометрические свойства согласовывались с кажущей плотностью и открытой плотностью, удельной поверхностью, водопоглощением. Из графиков зависимости удельной поверхности S_o от общего периметра пор P , а также зависимости кажущейся плотности ρ_k , водопоглощения B и открытой пористости P_o от общей площади пор S видно, что в рассмотренных случаях имеется взаимная связь между физико-механическими свойствами керамических изделий и характером их порового пространства. Наличие такой связи позволяет утверждать о возможном использовании выведенных уравнений для расчета удельной поверхности,

водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности по данным количественного анализа РЭМ-изображений. Поэтому исследование изменений твердости, пористости и водопоглощения керамических изделий при обжиге дает возможность выявить области, в которых происходят физико-химические и кристаллизационные процессы. Построенные графики зависимости изменения твердости, пористости и водопоглощения от температуры позволяют проследить эти процессы. Анализ построенных кривых показал, что с повышением температуры снижается водопоглощение и пористость, так как с увеличением температуры кристаллизуются высокотемпературные кристаллические фазы, которые оказывают влияние на образование проницаемости пор. В тоже время при повышении температуры образуется жидкая фаза, которая заполняет мелкие поры. Это также обуславливает снижение водопоглощения и пористости.

Из анализа построенных кривых выявлено, что с увеличением твердости увеличивается температура обжига, то есть имеется прямая связь. Наличие такой связи позволяет определить температуру обжига керамических изделий по построенному графику зависимости изменения твердости от температуры обжига.

В работе по результатам комплексного изучения образцов древних и средневековых керамических изделий Кыргызстана впервые в практике истории развития керамического производства создан банк данных, пригодный для статистической обработки информации (приложение 2).

ВЫВОДЫ

Выполненная работа приводит к следующим результатам и позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Впервые предложен и реализован комплексный подход к исследованию истории технологий керамического производства для его реконструкции, выявления закономерностей и тенденций эволюции на основе современных методов: рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов, оптической и растровой электронной микроскопии, технических испытаний на твердость по Роквеллу и метода гидростатического взвешивания, для изучения истории технологий керамического производства Кыргызстана в период II тыс. до н.э. – XVI в.
2. Установлено, что мастера рассматриваемых периодов использовали разные по составу, структуре и свойствам глиняные массы не только на отдельных территориях (ныне исторических памятниках), но и в одних и тех же центрах по производству керамических изделий, различавшихся по источникам сырья и технологическим особенностям обжига и обработки глин.
3. Реконструирован технологический процесс изготовления керамических изделий, обусловленный «борьбой» мастеров за повышение температурного режима обжига: от 550–650° (II тысячелетие до н.э.) до 1000–1200° (X–XII вв.).
4. Разработана классификация исследованных изделий по результатам комплексного метода исследования, позволяющая реконструировать методы и приемы, которыми древние керамисты обрабатывали глинистый материал и придавали ему соответствующие свойства.
5. Установлена связь отдельных памятников с конкретными источниками сырья, представляющая интерес для анализа керамического производства.
6. Проведен сравнительный анализ керамических производств по результатам комплексного исследования и выявлены общие направления, тенденции и закономерности развития керамического производства на территории

Кыргызстана, а также их различия, связанные с процессом культурогенеза народов, населявших исследованную территорию.

7. Анализ взаимосвязи микроструктуры и физико-механических свойств древних и средневековых керамических изделий на территории республики по данным РЭМ-изображений позволил вывести уравнения для расчета удельной поверхности, водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности, которые можно использовать в дальнейших исследованиях.
8. Анализ динамики (кривых) изменения физико-механических свойств керамических изделий при обжиге позволил выявить области, в которых происходят физико-химические и кристаллизационные процессы и вывести уравнения для расчета водопоглощения, открытой пористости и твердости, которые можно применить в дальнейших исследованиях.
9. Исследования образцов, предложенными в работе методами, показывает их перспективность. Созданная база физико-механических и физико-химических параметров керамических артефактов из историко-культурных памятников может использоваться для статистической обработки информации в территориально-хронологических координатах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Абетеков, А.К.** Культура кочевников древней Киргизии [Текст] / А.К. Абетеков // Сквозь века: К истокам культуры народов СССР (выпуск 2). – М.: Знание, 1986. – С.31-42.
2. **Августиник, А.И.** Керамика [Текст] / А.И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 484 с.
3. **Агеева, Е.И.** Средневековые города Чуйской долины [Текст] / [Е.И. Агеева, И.А. Бенедиктов и др.] // Материалы и исследования по археологии СССР. – 1950. – В. 14. – С. 45-48.
4. **Агеева, Е.И.** Из истории оседлых поселений и городов Южного Казахстана [Текст] / Е.И. Агеева, Г.И. Пацевич // Труды института истории, археологии, этнографии АН Каз. ССР, 1958. – Т. 5. – С. 184-186.
5. **Андреев, М.С.** К материалу по среднеазиатской керамике [Текст] / М.С. Андреев. – Ташкент, 1926. – 163 с.
6. **Археология и естественные науки** [Текст] / Материалы и исследования по археологии СССР. – №129. – М.: 1965. – 348 с.
7. **Байпаков, К.М.** Средневековая городская культура Южного Кыргызстана и Семиречья (VI начало XIII вв.) [Текст] / К.М. Байпаков. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 256 с.
8. **Бартольд, В.В.** Отчет о поездке в Среднюю Азию с научной целью 1893-1894 гг. Сочинения [Текст] / В.В. Бартольд. – М.: Наука, 1966. – Т. 4. – С. 30 и 113.
9. **Баруздин, Ю.Д.** Археологические памятники Баткена и Ляйляка [Текст] / Ю.Д. Баруздин, Г.А. Брыкина. – Фрунзе, 1962. – 128 с.
10. **Безбородов, М.А.** Мозаичные резные изразцы средневекового Анау [Текст] / М.А. Безбородов // Доклады АН СССР. – 1946. – Т. 51, №5.
11. **Беркман, А.С.** Структура и морозостойкость стеновых материалов [Текст] / А.С. Беркман, И.Г. Мельникова. – М.-Л.: Госстройиздат, 1962. – 166 с.

12. **Бернштам, А.Н.** Археологические исследования на Памире и в Алае [Текст] / А.Н. Бернштам // Вестник Ленинградского университета. – 1948. – № 11. – С. 175-176.
13. **Бернштам, А.Н.** Историко-археологические очерки Центрального Тянь-Шаня и Памиро-Алая [Текст] / А.Н. Бернштам // Материалы и исследования по археологии СССР. – М.-Л., 1952. – №26. – 348 с.
14. **Бернштам, А.Н.** Археологический очерк Северной Киргизии [Текст] / А.Н. Бернштам. – Фрунзе, 1941. – 255 с.
15. **Бернштам А.Н.** Городище Садыр-Курган [Текст] / А.Н. Бернштам // Археологические памятники Таласской долины. – Фрунзе: Изд. АН Киргизской ССР, 1963. – С. 123.
16. **Бернштам, А.Н.** Из итогов археологических работ на Тянь-Шане и Памиро-Алае [Текст] / А.Н. Бернштам // Краткие сообщения Института истории материальной культуры. – 1949. – Вып. 28. – С. 54-66.
17. **Бернштам, А.Н.** Основные этапы истории культуры Семиречья и Тянь-Шаня [Текст] / А.Н. Бернштам // Советская археология. – 1949. – Т. 11. – С. 382-383.
18. **Бернштам, А.Н.** Историко-археологические очерки Тянь-Шаня и Семиречья [Текст] / А.Н. Бернштам / Избранные труды по археологии и истории кыргызов и Кыргызстана: в 2т. – Б.: Айбек, 1997. – С.142-147.
19. **Бируни.** Минералогия [Текст] / Бируни. – М.: АН СССР, 1963. – 521 с.
20. **Бобринский, А.А.** Гончарство Восточной Европы [Текст] / А.А. Бобринский //Источники и методы изучения. – М.: Наука, 1978. – 272 с.
21. **Борисов, В.А.** Опыт разработки и применения экспериментальных методов исследования керамики (по материалам эпохи бронзы верхнего Приобья) [Текст]: автореф. на соиск. ученой степ. канд. ист. наук: 07.00.06 / В.А. Борисов. – Барнаул, 2009. – 28 с.
22. **Бубнова, М.А.** Добыча серебро-свиновых руд в Шельджи в IX-XII вв. [Текст] / М.А. Бубнова // Археологические памятники Таласской долины. – Фрунзе: Изд. АН Киргизской ССР, 1963. – С. 225.

23. **Будников, П.П.** Технология керамики и огнеупоров [Текст] / П.П. Будников, А.С. Бережной и др. – М., 1950. – 189 с.
24. **Бурнашева, Ф.А.** Опыт технологического исследования глазурей керамической мозаики XV в. из медресе Улугбека [Текст] / Ф.А. Бурнашева // Научные работы и сообщения Отдела общественных наук АН Узбекской ССР. – Ташкент, 1961. – Кн. 3.
25. **Валиулина, С.И.** Химико-технологическая характеристика глазурей памятников Хорезма и золотой орды [Текст] / [С.И. Валиулина, Е.А. Армарчук, И.В. Волков и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия гуманитарные науки. – 2011. – Том 153, кн. 3. – С. 7-20.
26. **Винник, Д.Ф.** Памятники архитектуры Иссык-Кульской котловины XIV-XV вв. [Текст] / Д.Ф. Винник // Памятники Киргизстана. - Фрунзе, 1974. - №2. - С. 60-63.
27. **Винник, Д.Ф.** Древние города и поселения Прииссыккулья [Текст] / Д.Ф. Винник // Памятники Киргизстана. - Фрунзе, 1970. - Вып. 1.
28. **Винник, Д.Ф.** Работы Иссык-Кульского археологического отряда в 1959 г. [Текст] / Д.Ф. Винник // Известия АН Киргизской ССР. Серия обществ. наук. – Фрунзе, 1961. - Т. III. Вып. 3.
29. **Виноградова, Б.Н.** Петрографические исследования керамики древнего Хорезма [Текст] / Б.Н. Виноградова // Петролого-минералогические особенности пород и технического камня. - М: Недра, 1979. - С. 99-106.
30. **Галицкий, В.Я.** Старинный Ош: Очерк истории [Текст] / В.Я. Галицкий, В.М. Плоских. - Фрунзе: Илим, 1987.
31. **Гиллер, Я.Л.** Таблицы межплоскостных расстояний [Текст] / Я.Л. Гиллер. - М.: Изд-во "Недра", 1966. - 180 с.
32. **Глушков, И.Г.** Керамика как археологический источник [Текст] / И.Г. Глушков. - Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 1996. - 328 с.
33. **Горшков, В.С.** Вяжущие, керамика, стеклокристаллические материалы: структура и свойства: справ. пособие [Текст] / В.С. Горшков [под ред. В.С. Горшкова, В.Г Савельева, А.В. Абакумова]. - М.: Стройиздат, 1995. - 584 с.

34. **Горячева, В.Д.** Исследования у мавзолея Шах-Фазиль [Текст] / В.Д. Горячева // Археологические открытия 1973 года. - М., 1974. - С. 525-526.
35. **Горячева, В.Д.** Памятники древнего Узгена [Текст] / В.Д. Горячева // Памятники Киргизстана. - Фрунзе, 1975. - Вып. 2 - С.67-73.
36. **ГОСТ 2409-2014.** Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения [Текст]. - М.: Стандартиформ, 2014. - 8 с.
37. **Гражданкина, Н.С.** Древние строительные материалы Туркмении [Текст] / Н.С. Гражданкина // Труды Южно-Туркменистанской археологической комплексной экспедиции. – Ашхабад, 1958. - Т. VIII. - 406 с.
38. **Гражданкина, Н.С.** Методика химико-технологического исследования древней керамики [Текст] / Н.С. Гражданкина // Археология и естественные науки. - М.: Наука, 1965. - С. 152-161.
39. **Гражданкина, Н.С.** Опыт технологического исследования древней красноангобированной керамики Узбекистана [Текст] / Н.С. Гражданкина // История материальной культуры Узбекистана (выпуск 3). - Ташкент, 1962.
40. **Гребенщиков, А.В.** Гончарство древних племен Приамурья (начало эпохи раннего железа) [Текст] / А.В. Гребенщиков, Е.И. Деревянко. - Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии Сибирского Отделения РАН, 2001. - 120 с.
41. **Денике, Б.П.** Искусство Средней Азии [Текст] / Б.П. Денике - М., 1927.
42. **Дребушак, В.А.** Комплексное исследование древней керамики: некоторые вопросы методики интерпретации результатов [Текст] / В.А. Дребушак, Л.Н. Мыльникова, Т.Н. Дребушак // Annual Review in Cultural Heritage Studies. December, 2006. Vol. 39. S. 316-350.
43. **Дребушак, В.А.** Физико-химическое исследование керамики с поселения переходного времени от бронзового к железному веку Линево-1: возможности методов и интерпретация результатов [Текст] / В.А. Дребушак, Л.Н. Мыльникова, Т.Н. Дребушак // Археология, этнография и антропология Евразии. - 2010. - № 4 (44). - С. 60-75.
44. **Дудеров, Г.Н.** Обжиг спекающихся керамических масс [Текст] / Г.Н. Дудеров. - М.: Стройиздат, 1957. - 116 с.

45. **Дудеров, Г.Н.** Практикум по технологии керамики и огнеупоров [Текст] / Г.Н. Дудеров. - М., 1953. - 264 с.
46. **Евтюхова, Л.А.** Археологические памятники енисейских кыргызов [Текст] / Л.А. Евтюхова. – Абакан, 1948. - 193 с.
47. **Жущиховская, И.С.** Очерки истории древнего гончарства Дальнего Востока России. [Текст] / И.С. Жущиховская. - Владивосток: ДВО РАН, 2004. - 312 с.
48. **Жущиховская, И.С.** Петрографический метод в изучении древней керамики (на материале неолитических-средневековых культур Приморья) [Текст] / И.С. Жущиховская, Б.Л. Залищак // Методы естественных наук в археологическом изучении древних производств на Дальнем Востоке СССР [под ред. О.В. Дьяково, В.Д. Ленькова, Э.В. Шавкунова]. - Владивосток: Дальневосточный научный центр АН СССР, 1986. - С. 55-67.
49. **Заднепровский, Ю.А.** Археологические работы в Южной Киргизии в 1954 г. [Текст] / Ю.А. Заднепровский // Труды археолого-этнографической экспедиции. - 1960. - Т. IV. - С. 226-244.
50. **Заднепровский, Ю.А.** Древнеземледельческая культура Ферганы [Текст] / Ю.А. Заднепровский // Материалы и исследования по археологии СССР. - 1962. - №118. - 330 с.
51. **Заднепровский, Ю.А.** Основные этапы древней истории г. Оша и Ошского оазиса [Текст] / Ю.А. Заднепровский // Ош-3000: Юбилей века: Документы, выступления. - Бишкек: Акыл, 1997. - С. 32-46.
52. **Заднепровский, Ю.А.** Основные этапы истории культуры Южного Кыргызстана в свете новых данных [Текст] / Ю.А. Заднепровский // Древний и средневековый Кыргызстан. - Бишкек: Илим, 1996. - С. 15-33.
53. **Зальманг, Г.** Физические и химические основы керамики [Текст] / Г. Зальманг. - Л., 1935. - 286 с.
54. **Засыпкин, Б.Н.** Памятники Узгента [Текст] / Б.Н. Засыпкин // Выставка научно-исследовательских работ по изучению материальной культуры Средней Азии. - М., 1927. - С.7-10.

55. **Засыпкин, Б.Н.** Архитектурные памятники Ферганы [Текст] / Б.Н. Засыпкин // Труды секции истории искусств Российской ассоциации научно-исследовательских институтов общественных наук. - М., 1930. - Т.5. - С. 62-73.
56. **Заурова, Е.З.** Раскопки на городище Ак-Чий [Текст] / Е.З. Заурова // Өчпөс көз ирмемдер [Т.О. Ормонбеков]. - Бишкек, 2005. - С. 89-108.
57. **История Киргизской ССР:** в 5 т. [Текст] // АН Киргизской ССР, Ин-т истории [под ред. С.И. Ильасова]. - Фрунзе: Кыргызстан, 1984.
58. **Касымова, М.Т.** Физико-химические исследования Джети-Огузской керамики [Текст] / М.Т. Касымова, Г.Т. Орузбаева // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - 2017. - Т. 17. - № 8. - С. 112-115.
59. **Касымова, М.Т.** Формирование и развитие материальной культуры древних кыргызов [Текст] / М.Т. Касымова, Г.Т. Орузбаева, К.С. Кененсариев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - 2020. - Т. 20. - № 2. - С. 50-53.
60. **Кожемяко, П.Н.** Оседлые поселения Таласской долины [Текст] / П.Н. Кожемяко // Археологические памятники Таласской долины. - Фрунзе, 1963. - С. 199-201.
61. **Кожемяко, П.Н.** Раннесредневековые города и поселения Чуйской долины. [Текст] / П.Н. Кожемяко. - Фрунзе: Акад. наук Киргизской ССР, 1959. - 186 с.
62. **Кожемяко, П.Н.** Раскопки жилищ горожан X-XII вв. на Краснореченском городище [Текст] / П.Н. Кожемяко // Древняя и средневековая культура Кыргызстана. - Б.: Илим, 1996. - С. 66-68.
63. **Козьминых, В.О.** Структурный физико-химический анализ образца древней керамики [Текст] / [В.О. Козьминых, И.Н. Ганебных, О.С. Ельцов и др] // Приволжский научный вестник. - 2015. - № 3-1 (43). - С. 8-15.
64. **Коробкова, Г.Ф.** Отпечатки тканей на керамике [Текст] / Г.Ф. Коробкова // Материалы и исследования по археологии СССР. - 1962. - №118. - С. 445-448.
65. **Круг, О.Ю.** Применение петрографии в археологии [Текст] / О.Ю. Круг // Археология и естественные науки. - М.: Наука, 1965. - С. 146-152.
66. **Круг, О.Ю.** Применение петрографических методов для исследования силикатов (технических материалов) в археологии [Текст] / О.Ю. Круг // Методы естественных и технических наук в археологии. - М., 1963. - С. 42-43.

67. **Кызласов, Л.Р.** Сакская коллекция с Иссык-Куля [Текст] / Л.Р. Кызласов // Новое в археологии. - М., 1972.
68. **Лamina, Е.В.** Минералогия древней керамики Барабы [Текст] / Е.В. Лamina, Э.В. Лотова, Н.Н. Добрецов. - Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии Сибирского Отделения РАН, 1995. - 126 с.
69. **Лукашов, Н.** Затонувшие города, или 25 лет на Иссык-Куле [Текст] / Н. Лукашов, С. Лукашова // Предельная глубина / Журнал про дайвинг. - М., 2009. - № 5.
70. **Лукашова, С.** Под волнами Иссык-Куля [Текст] / С. Лукашова, Н. Лукашов // Восточная коллекция. - М., 2011. - № 4 (47).
71. **Массон, В.М.** Ош и городские центры Ферганской долины [Текст] / В.М. Массон // Древний Ош в среднеазиатском контексте. - Ош, 1998. - С. 15-18.
72. **Массон, М.Е.** Из результатов поездки в долину Таласа для выяснения истории горной промышленности [Текст] / М.Е. Массон. - Ташкент, 1930. - 87 с.
73. **Массон, М.Е.** Рудник погибели (из истории первых лет деятельности Туркестанского кружка любителей археологии). [Текст] / М.Е. Массон. - Фрунзе: Киргизстан, 1971.
74. **Массон, М.Е.** Бурана: история городища и его архитектурных памятников. [Текст] / М.Е. Массон, Г.А. Горячева. - Фрунзе: Илим, 1985. - 143 с.
75. **Минеральные ресурсы** неметаллических полезных ископаемых Кыргызской Республики [Текст]: справочник. - Бишкек, 1996. - 305 с.
76. **Мокрынин, В.П.** Иссык-Куль: затонувшие города. [Текст] / В.П. Мокрынин, В.М. Плоских. - Фрунзе, 1988.
77. **Молодин, В.И.** Бинокулярная микроскопия керамики городища Чича-1 // Социально-демографические процессы на территории Западной Сибири (древность и средневековье). [Текст] / В.И. Молодин, Л.Н. Мыльникова. - Кемерово: Кемеровский Государственный Университет, Институт археологии и этнографии Сибирского отделения Российской Академии наук, 2003. - С. 147-151.

78. **Молодин, В.И.** Методы естественных наук в изучении древней керамики (теория и практика) [Текст] / В.И. Молодин, Л.Н. Мыльникова // Интеграция археологических и этнографических исследований. - Омск: Омский Государственный Университет, 2010. - С. 53-60.
79. **Молодин, В.И.** Традиционные и новейшие методы исследования древней керамики (теория и практика) [Текст] / В.И. Молодин, Л.Н. Мыльникова // Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки: материалы III международной научно-практической конференции 24-25 апреля 2014 г. - North Charleston, USA: spc Academic (научно-издательский центр Академический), 2014. - Т. 2. - С. 30-40.
80. **Молодин, В.И.** Теория и практика исследования древней керамики: традиционные и новейшие методы [Текст] / В.И. Молодин, Л.Н. Мыльникова // Самарский научный вестник. - 2015. - № 3 (12). - С. 122-127.
81. **Мыльникова, Л.Н.** Атомно-абсорбционный и нейтронно-активационный анализы древней керамики [Текст] / Л.Н. Мыльникова // Проблемы технологии древних производств / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т истории, филологии и философии. - Новосибирск, 1990. - С. 81-89.
82. **Мыльникова, Л.Н.** Бинокулярная микроскопия керамики могильника Еловка-2 [Текст] / Л.Н. Мыльникова // Еловский археологический комплекс [Матющенко В.И.] Часть третья. Еловский II могильник. Комплексы Ирмени и раннего железного века. - Омск: Изд-во Омского Государственного Университета, 2006. - С. 71-118.
83. **Мыльникова, Л.Н.** К вопросу о температуре обжига неолитической керамики поселения Кондон (Нижний Амур) [Текст] / Л.Н. Мыльникова // Керамика как исторический источник. Подходы и методы. - Свердловск-Куйбышев, 1991. - С. 63-65.
84. **Настич, В.Н.** О методиках датировки средневековых арабографических памятников эпиграфики Ферганы и Семиречья [Текст] / В.Н. Настич // Восточное историческое источниковедение и специальные исторические дисциплины. - М., 1995. - Вып. 3. - С. 287-302.

85. **Настич, В.Н.** Узгендские памятники [Текст] / В.Н. Настич // Эпиграфика Киргизии [под ред. Ч. Джумагулова]. - Фрунзе, 1982. - Кн. 2. - С. 119-120.
86. **Нусов, В.Е.** Архитектура Киргизии, с древнейших времен до наших дней. [Текст] / В.Е. Нусов. - Фрунзе: Киргизстан, 1971.
87. **Орузбаева, Г.Т.** Гончарные печи древних кыргызов. [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Вестник Кыргызского технического университета. - 2002. - № 5. - С. 69-74.
88. **Орузбаева, Г.Т.** Исследование химического состава средневековой Чуйской керамики рентгенофлуоресцентным методом [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Стекло и керамика. - 2018. - № 10. - С. 44-46.
89. **Орузбаева, Г.Т.** Определение температуры обжига древней и средневековой Иссык-Кульской керамики [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Вопросы истории естествознания и техники. - 2019. - Т. 40. - № 3. - С. 592-598.
90. **Орузбаева, Г.Т.** Определение температуры обжига Чуйской керамики VIII-XVI вв. [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Строительные материалы. - 2017. - № 9. - С. 33-36.
91. **Орузбаева, Г.Т.** Особенности технологии керамического производства у древних кыргызов [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Вестник Кыргызского технического университета. - 2002. - №5. - С. 74-78.
92. **Орузбаева, Г.Т.** Исследование образцов древней керамики южного побережья Иссык-Куля рентгенофлуоресцентным методом [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - 2020. - Т. 20. - № 10. - С. 31-35.
93. **Орузбаева, Г.Т.** Физико-механические исследования древней керамики, обнаруженной на территории Кыргызстана [Текст] / Г.Т. Орузбаева // Стекло и керамика. - 2020. - №5. - С. 43-46.
94. **Орузбаева, Г.Т.** Исследования древней и средневековой керамики Кыргызстана рентгенофлуоресцентным анализом [Текст] / Г.Т. Орузбаева, М.Т. Касымова // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2019. - № 3 (723). - С. 101-108.
95. **Орузбаева, Г.Т.** Развитие керамического, металлургического, стекольного производств на территории Кыргызстана до XII в [Текст] / Г.Т. Орузбаева,

- М.Т. Касымова // Изв. Кыргызского государственного технического университета. - 2013. - № 29. - С. 175-179.
96. **Орузбаева, Г.Т.** Сравнительный анализ микротвердости древней керамики, обнаруженной на территории Кыргызстана [Текст] / Г.Т. Орузбаева, А.О. Омарбекова // Изв. Казахского национального технического университета. - 2015. - №4. - С. 393-395.
97. **Орузбаева, Г.Т.** Физико-химические исследования глазурованной керамики Кыргызстана X-XVI вв. [Текст] / Г.Т. Орузбаева, Ю.С. Худяков // Стекло и керамика. - 2020. - № 9. - С. 41-45.
98. **Осипов, В.И.** Микроструктура глинистых пород [Текст] / В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева. - М.: Недра, 1989. - 211 с.
99. **Осипова, Т.В.** Применение методов естественных наук в современных археологических исследованиях [Текст] / Т.В. Осипова // Изв. Пензенского государственного педагогического института им. В.Г. Белинского. - 2012. - № 27. - С. 870-872.
100. **Пещерева, Е.М.** Гончарное производство Средней Азии. [Текст] / Е.М. Пещерева. - М-Л., 1959. - 341 с.
101. **Плоских, В.В.** Исследования затонувших памятников Иссык-Куля: итоги и проблемы [Текст] / В.В. Плоских // Вопросы истории Кыргызстана. - 2011. - №1. - С. 72-78.
102. **Плоских, В.М.** По следам затонувших памятников Иссык-Куля [Текст] / В.М. Плоских // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - 2013. - Т. 13. - № 8. - С. 79-88.
103. **Плоских, В.М.** Подводные тайны Иссык-Куля. [Текст] / В.М. Плоских, В.В. Плоских. - Бишкек: Илим, 2008. - С. 27-28.
104. **Распопова, В.И.** Гончарные изделия согдийцев Чуйской долины [Текст] / В.И. Распопова // Труды киргизской археолого-этнографической экспедиции. - М., 1960. - Т. IV. - С. 150.
105. **Рахимов, М.К.** Художественная керамика Узбекистана. [Текст] / М.К. Рахимов. - Ташкент, 1961. - 169 с.

106. **Ревенко, А.Г.** Применение рентгеноспектрального метода анализа для исследования материалов культурного наследия [Текст] / А.Г. Ревенко, В.А. Ревенко // Методы и объекты химического анализа. - 2007. - Т. 2. - № 1. - С. 4-29.
107. **Сайко, Э.В.** Режим обжига в практике древних и средневековых гончаров Востока [Текст] / Э.В. Сайко // Археология Сибири, Средней Азии и Кавказа [под ред. И.Т. Кругликова]. - М.: Наука, 1981. - С. 43-64.
108. **Сайко, Э.В.** Техника и технология керамического производства Средней Азии в историческом развитии [Текст] / Э.В. Сайко. - М.: Наука, 1982. - 210 с.
109. **Сайко, Э.В.** Глазури керамики Средней Азии VIII-XII вв. (по материалам керамических комплексов Хутталя, Согда, Ферганы) [Текст] / Э.В. Сайко. - Душанбе, 1963. - 40 с.
110. **Сайко, Э.В.** Из опыта применения микроскопического метода исследования к изучению средневековой среднеазиатской керамики [Текст] / Э.В. Сайко // Известия отдела общественных наук Таджикской ССР. - 1960. - Вып. 1. - С. 41-66.
111. **Сайко, Э.В.** История технологии керамического ремесла Средней Азии VIII-XII вв. [Текст] / Э.В. Сайко. - Душанбе, 1966. - 211 с.
112. **Сайко, Э.В.** К истории гончарного круга и развития форм керамики [Текст] / Э.В. Сайко. М.: Наука, 1971. - 172 с.
113. **Сайко, Э.В.** Методологические исследования керамики [Текст] / Э.В. Сайко. - М., 1977. - 28 с.
114. **Сайко, Э.В.** О технологии обжига керамических изделий средневековых среднеазиатских мастеров [Текст] / Э.В. Сайко // Известия отдела общественных наук АН Таджикской ССР. - 1965. - №1 (39). - С.62-69.
115. **Сайко, Э.В.** О технологии обжига керамических изделий средневековых среднеазиатских мастеров [Текст] / Э.В. Сайко // Известия отдела общественных наук АН Таджикской ССР. - №1 (39). - С.62-69.
116. **Сайко, Э.В.** Режим обжига в практике древних и средневековых гончаров Востока [Текст] / Э.В. Сайко // Краткие сообщения Института археологии АН СССР. - 1981. - № 167. - С. 43-64.

117. **Сайко, Э.В.** Технологическая характеристика керамики развитой бронзы из Алтын-Депе [Текст] / Э.В. Сайко // Каракарумские древности. - 1972. - Вып. IV. - С. 143-148.
118. **Сайко, Э.В.** Технология керамики средневековых мастеров [Текст] / Э.В. Сайко // Археология и естественные науки. М.: Наука, 1965. - С. 161-166.
119. **Сайко, Э.В.** Методы микроскопии в исследовании древней керамики (методические аспекты и практика) [Текст] / Э.В. Сайко, И.С. Жущиховская. - Владивосток: Дальневосточное Отделение АН СССР, 1990. - 53 с.
120. **Сайко, Э.В.** Методические основы исследования древней керамики [Текст] / Э.В. Сайко, В.Г. Кузнецова. - М.: Информационный центр по проблемам культуры и искусства, 1977. - 50 с.
121. **Сложносоставные луки с памятника Уч-Курбу в Кыргызстане** [Текст] / [Ю.С. Худяков и др.] // Археология, этнография и антропология Евразии. - 2013. - №3 (55). - С. 81-86.
122. **Соболев, В.В.** Введение в минералогию силикатов. [Текст] / В.В. Соболев. - Львов, 1949. - 312 с.
123. **Соколов, В.Н.** Применение компьютерного анализа РЭМ-изображений для оценки емкостных и фильтрационных свойств пород – коллекторов нефти и газа [Текст] / В.Н. Соколов, В.А. Кузьмин // Известия АН, серия физика. - 1993. - Т. 57. - № 8. - С. 94-98.
124. **Табалдиев, К.Ш.** Курганы средневековых кочевых племен Тянь-Шаня [Текст] / К.Ш. Табалдиев. - Бишкек, 1996.
125. **Табалдыев, К.Ш.** Древние памятники Тянь-Шаня [Текст] / К.Ш. Табалдыев. - Бишкек: V.R.S. Company, 2011. - 320 с.
126. **Ташбаева, К.И.** Культура ранних кочевников Тянь-Шаня и Алая (1 тыс. до н.э.) [Текст] / К.И. Ташбаева. - Бишкек: Илим, 2011. - 274 с.
127. **Тереножкин, А.И.** Археологические разведки по р. Чу в 1929 г. [Текст] / А.И. Тереножкин // Труды Семиреченской археологической экспедиции. - 1935. - № 5-6.

128. **Термическая обработка** и механические испытания: методические указания к лабораторным работам по материаловедению для студентов машиностроительных специальностей [Текст] / [под ред. Ж.Т. Бакирова, А.А. Айнабековой, У.М. Дыйканбаевой]. - Бишкек: ИЦ «Текник», 2011. - 36 с.
129. **Химико-технологическая** характеристика глазурей памятников Хорезма и Золотой Орды [Текст] / [С.И. Валиулина и др.] // Ученые записки Казанского университета. - 2011. - Т. 153. - Кн. 3. - С. 7-20.
130. **Чуйская долина** [Текст] / [под ред. А.Н. Бернштама] // Материалы и исследования по археологии СССР. - М.-Л., 1950. - №14.
131. **Bernard, J.D.** Dosage par fluorescence de Fe, Mn, Ti, K, Si, Al dans les compases ceramigiues a base de silice et d'alumine [Text] / J.D. Bernard, A. Fleuzence // Bulletin de la societe francaise de ceramigues. - 1970. - Vol. 89. - P. 61-70.
132. **Borisov, V.** Some aspects of the technological development of production in the territory of Kyrgyzstan before the twelfth century [Text] / V. Borisov, G. Oruzbaeva // ICON: The Journal of the International Committee for the History of Technology. - 2020. - Vol. 25. - No. 1. - P. 112-121.
133. **Campanella L., Favero G., Flamini P. and Tomassetti M.** Prehistoric Terracottas from the Libyan Tadrart Acacus: Thermoanalytical study and characterization [Text] / L. Campanella, G. Favero, P. Flamini and M. Tomassetti // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. - 2003. - Vol. 73. - P. 127-142.
134. **Heizer, R.** The Application of Quantitative methods in Archeology [Text] / R. Heizer, S. Cook. - New-York, 1960.
135. **Lal, B.B.** Archaeological chemistry and scientific studies. Ancient India. [Text] / B.B. Lal. - New Delhi, 1953. - №9.
136. **Maritan, L.** Archaeometric study of Etruscan-Padan type pottery from the Veneto region: petrographic, mineralogical and geochemical-physical characterization [Text] / L. Maritan // European Journal of Mineralogy. - 2004. - №16. - P. 297–307.
137. **Method and apparatus** for quantitative structural analysis of solids [Text] / [G.R. Mirkin, N.A. Rumyantseva, V.N. Sokolov et al.]. - United States Patent, 1979. - P. 788, mar. 27.

138. **Oruzbaeva, G.T.** Chemical composition of medieval Chuy ceramic: X-ray fluorescence study [Text] / G.T. Oruzbaeva // Glass and Ceramics. - 2019. - 75 (9-10). - P. 413-415.
139. **Oruzbaeva, G.T.** Physicomechanical studies of ancient ceramics discovered in Kyrgyzstan [Text] / G.T. Oruzbaeva, Yu.S. Khudyakov // Glass and Ceramics. - 2020. - 77 (5-6). - P. 197-199.
140. **Oruzbaeva, G.T.** Research of hardness for ancient ceramics of Kyrgyzstan [Text] / G.T. Oruzbaeva // Роль и место машиностроения в развитии приоритетных отраслей экономики: материалы международной научно-технической конференции. - Бишкек, 2018. - № 2 (46). - С. 73-76.
141. **Shepard, A.O.** Ceramics for the archaeologist [Text] / A.O. Shepard. - Washington, 1956.
142. **Tite, M.** Methods of Physical Examination in Archeology [Text] / M. Tite. - London and New York, 1972.
143. **The application** of quantitative methods in archaeology [Text] / 1960.
144. **Young, W.Y.** Analysis of oriental ceramic Wares by non-Destructive X-ray Methods [Text] / W.Y. Young, F.E. Whitmore // Far Eastern ceramic Bulletin. - 1957. - №9. - P. 1-27.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по науке Научно-исследовательского и проектного института «Кыргызреставрация»
Имангулов Д.Д.



(подпись)

15 августа 2023 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских,
научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической
деятельности**

1. Автор (соавторы) внедрения (ФИО полностью): Орузбаева Гульнара Талгатовна

2. Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической деятельности:

Историческая реконструкция керамических производств на территории Кыргызстана в период II тысячелетия до н.э. – XVI в.н.э. с применением комплексного метода исследования их артефактов позволила использовать следующие полученные научные результаты:

- исследования химического, минералогического и фазового составов глазурованных керамических артефактов, найденных на территории Кыргызстана;
- вероятные месторождения глинистого сырья, которое могли использовать древние и средневековые керамисты;
- динамику температурного режима обжига и классификация качественных характеристик изученных изделий.

3. Краткая аннотация:

Важным источником информации о развитии керамического производства являются находки глазурованных керамических изделий, относящихся к историческим периодам развитого и позднего Средневековья, X-XVI вв. Изобретение глазури, приемов нанесения их и росписи относятся как к истории развития техники, так и к экономике средневекового керамического производства. В связи с этим находки глазурованных керамических изделий заслуживают внимательного специального исследования. Изучение глазури также способствует накоплению знаний о технологии керамического производства, для чего проведены комплексные исследования отдельных фрагментов средневековых глазурованных керамических изделий, обнаруженных в различные периоды времени на площади керамических центров, расположенных в Чуйской, Таласской и Кочкорской долинах Кыргызстана, которые позволили выявить красители, их особенности и отметить важные моменты исторического развития керамических производств.

Комплексные исследования состава глазури имеют значение также для проведения реставрационных работ и сохранения объектов культурного наследия в Кыргызской Республике и являются важной составляющей комплексного изучения древних и средневековых керамических изделий на ее территории современными методами, при помощи которых были получены объективные результаты, позволяющие получить сведения, которые невозможно получить другим путем: определение температуры обжига и месторождений вероятного сырья.

4. Эффект внедрения:

- выделены разные типы глазури (свинцовая, щелочная, оловянная) и определены ее главные компоненты, их особенности, технологии получения окраски;
- установлена связь отдельных памятников с конкретными источниками сырья, что представляет интерес для анализа керамического производства;
- выявлена температура обжига реставрируемых керамических изделий.

5. Место и время внедрения:

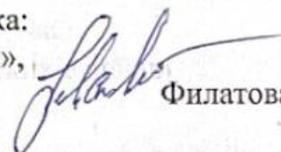
Минарет Бурана, Узгенский архитектурный комплекс, мавзолей Шах-Фазиль, городища Красная речка и Садыр-Курган.

6. Форма внедрения:

Проведение реставрационных работ и сохранение объектов культурного наследия в Кыргызской Республике.

Представитель организации, в которую внедрена разработка:

Главный архитектор проектов НИПИ «Кыргызреставрация»,
кандидат архитектуры, и.о. профессора



Филатова Т.А.

Представитель организации, из которого исходит внедрение:

Директор Института транспорта и
робототехники КГТУ им. И.Раззакова
д.т.н., профессор



Маткеримов Т.Б.

Зав.каф. Инженерная и компьютерная графика
КГТУ им. И.Раззакова,
к.т.н., доц.



Арзыбаев А.М.

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института
Истории и регионоведения
КНУ им. Ж. Баласагына
к.и.н., проф. Сырдыбаев Т.Т.



(подпись)

«22» 06. 2023 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских,
научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической
деятельности**

1. Автор (соавторы) внедрения (ФИО полностью) Орузбаева Гульнара Талгатовна

2. Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической деятельности:

Комплексное исследование образцов керамических изделий Кыргызстана со II тысячелетия до н.э. до XVI века, которое позволило получить необходимую системную информацию об их физико-химических и физико-механических свойствах, о развитии технологии и традициях керамических производств, установить источники сырьевой базы, определить динамику температурного режима обжига и провести классификацию качественных характеристик керамических изделий.

3. Краткая аннотация:

Керамическое производство на протяжении длительного времени составляло основу экономической жизни целого ряда народов, которые проживали на территории современного Кыргызстана, оно развивалось сложным путем, переживало периоды подъемов, значительных изменений, определяющих рубежи и этапы в истории развития этого вида человеческой деятельности. Особенности развития керамического производства, его характер, технология обусловлены в каждый исторический период потребностями общества, общим уровнем всего производства, характером распределения. Состояние и особенности разработки и изготовления керамических изделий того или иного периода, позволяющие выделить этапы в его развитии, определяются, прежде всего, уровнем техники производства и изменениями в его характере.

Изучение характера развития выработки керамической продукции как историко-производственного явления происходит на основе анализа особенностей изменения его технической организации. Уровень последней определяется, прежде всего, степенью развитости технических средств и разработки всей технологии, которые раскрываются и проявляются в свою очередь в характере организации технологического производственного процесса.

Для изучения керамического производства требуется его историческая реконструкция, что предполагает проведение комплексного исследования современными методами, которые прежде не проводились. Комплексный подход исследования позволяет получать из керамических изделий необходимую системную информацию о технологии и традициях древних их производств. Тем более, в таких широких исторических рамках, со II тысячелетия до н.э. до XVI века, когда практически и были освоены все основные технические приемы и методы, определившие перспективу развития керамического производства на территории Кыргызстана. Отсутствие обоснованных знаний о технологии производства керамических изделий препятствовало получению важной информации об истории Кыргызстана как государственного образования, его культуры и экономики. Но если обратиться к комплексному исследованию технологии производства керамических изделий, их разновидности, их составу и качеству, то откроются совершенно новые перспективы для подтверждения кыргызской древности.

4. Эффект внедрения:

- повышение качества подготовки студентов направления «Археология, этнология, источниковедение и историография»;
- улучшение качества знаний по дисциплине «Информационные технологии в исторических исследованиях и образовании»;
- усиление междисциплинарного дискурса в области изучения древних керамических изделий, как в самой республике, так и в международных научных проектах и контактах.

5. Место и время внедрения:

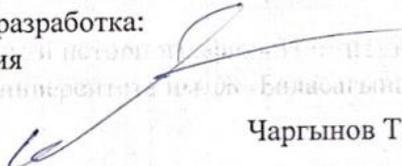
кафедра «Археология, этнология, источниковедение и историография» Института Истории и регионоведения Кыргызского Национального Университета им. Ж. Баласагына.

6. Форма внедрения:

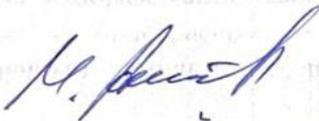
- лекционные и практические занятия по дисциплинам «Археология» и «Информационные технологии в исторических исследованиях и образовании» для студентов направления «Археология, этнология, источниковедение и историография».
- научные статьи по полученным научным результатам докторской диссертации Орузбаевой Г.Т.

Представитель организации, в которую внедрена разработка:

Зав.каф. Археологии, этнологии, источниковедения
и историографии КНУ им. Ж. Баласагына
к.и.н., доц.


Чаргынов Т.Т.

Зав. каф. Истории стран Азии и Африки
КНУ им. Ж. Баласагына
к.и.н., доц.

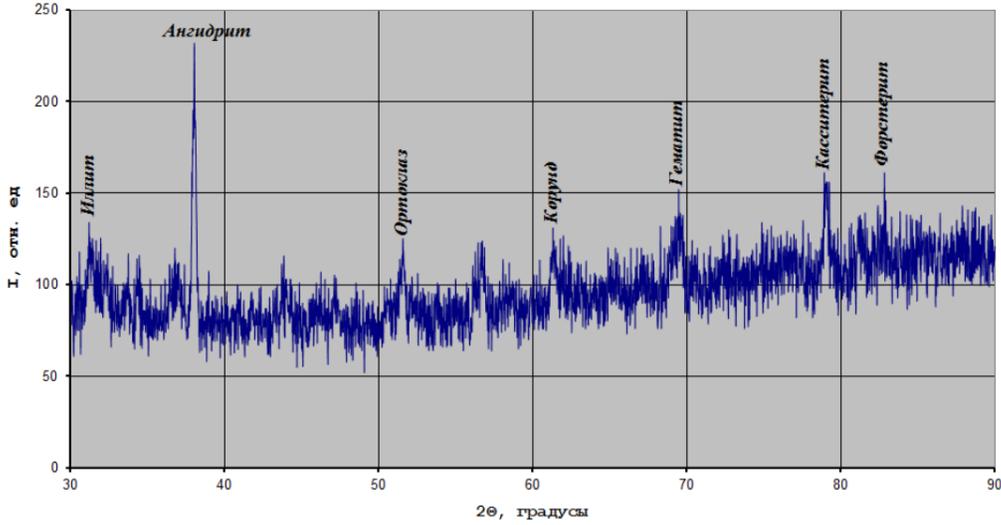
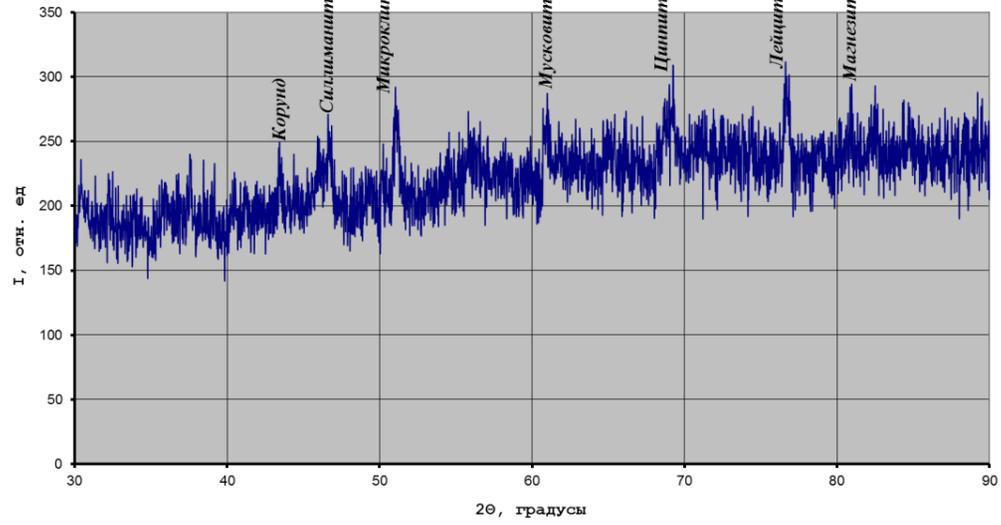

Асипбаева М.Б.

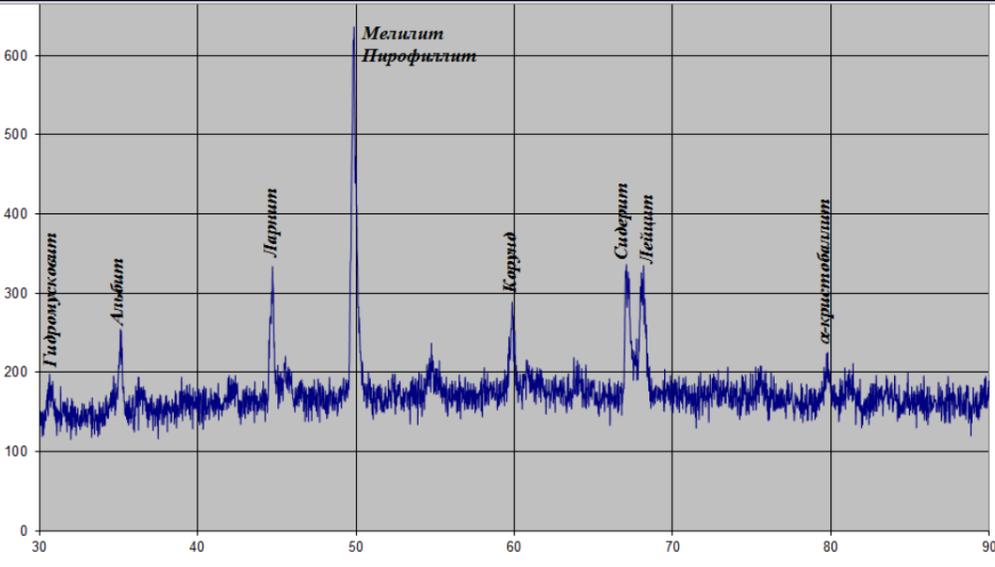
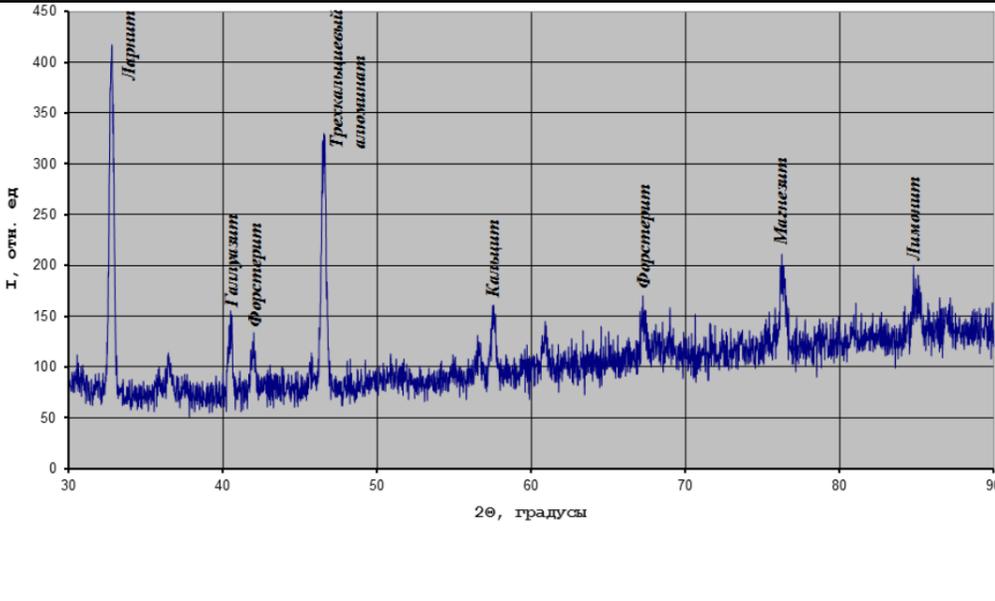
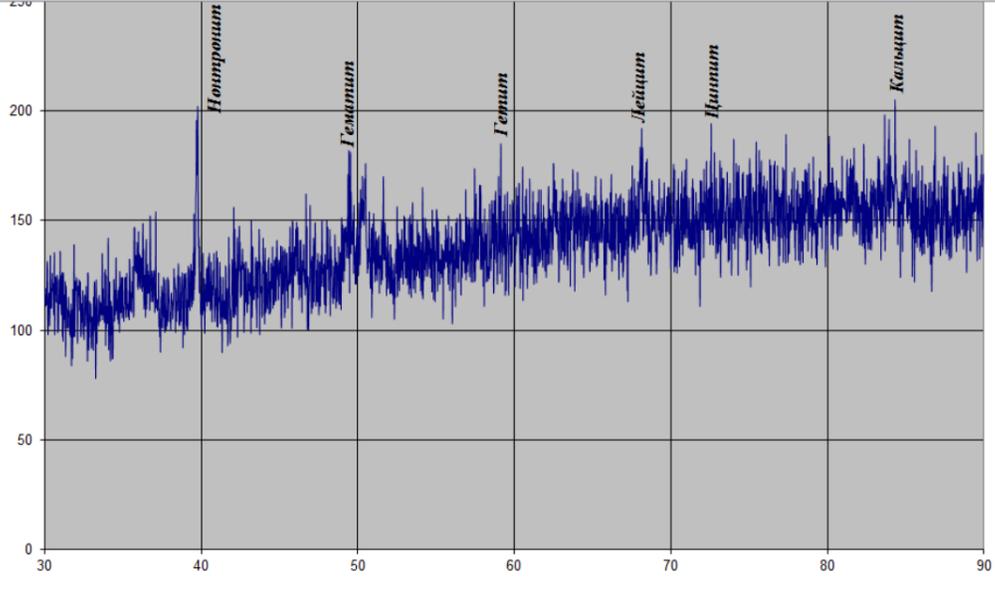
Представитель организации, из которого исходит внедрение:

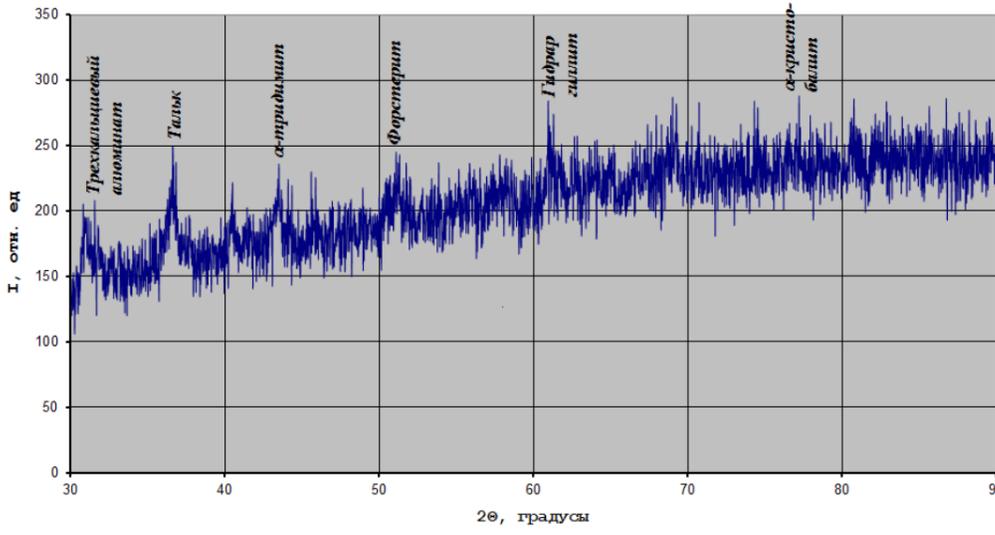
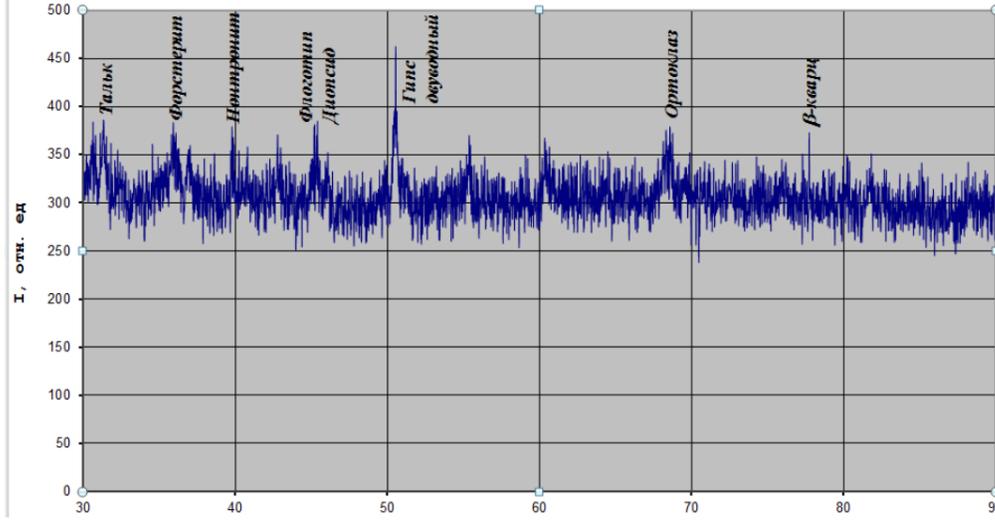
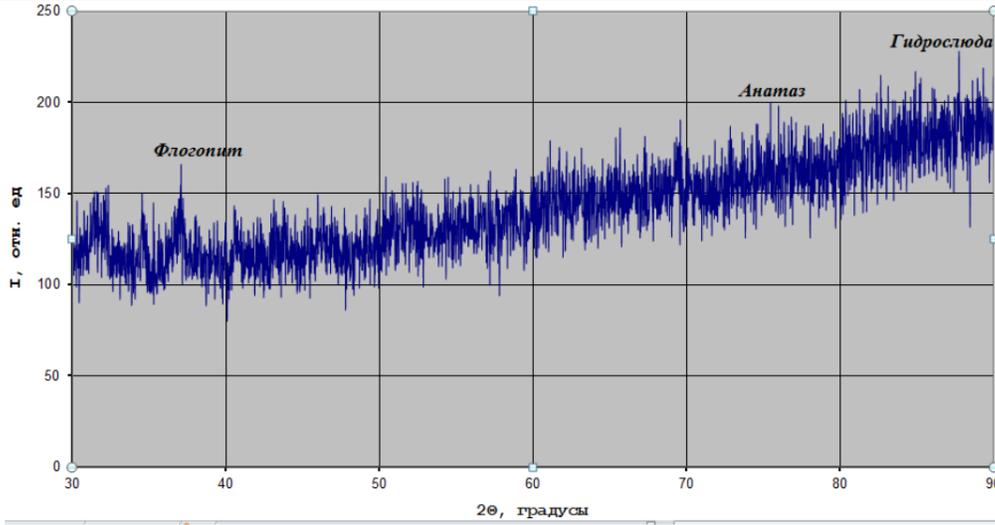
Зав.каф. Инженерная и компьютерная графика
КГТУ им. И.Раззакова
к.т.н., доц.

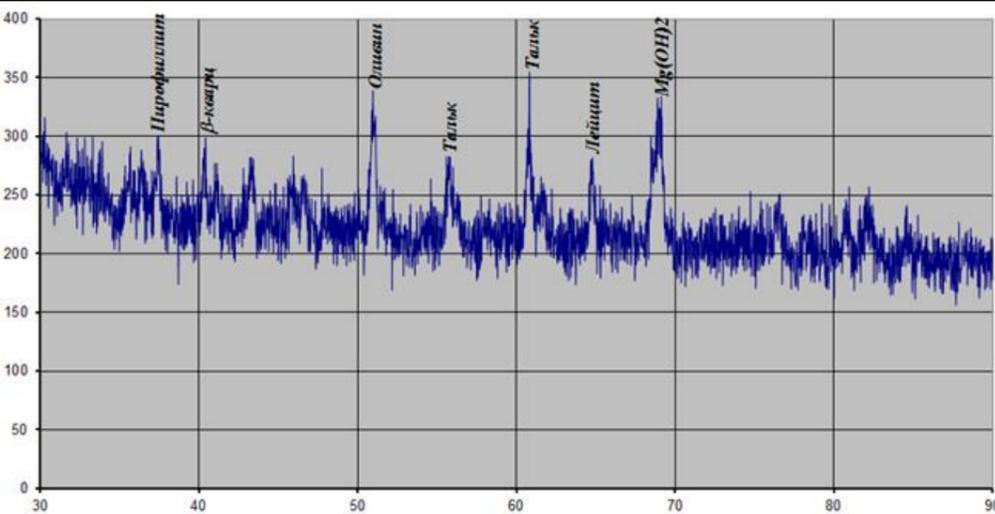
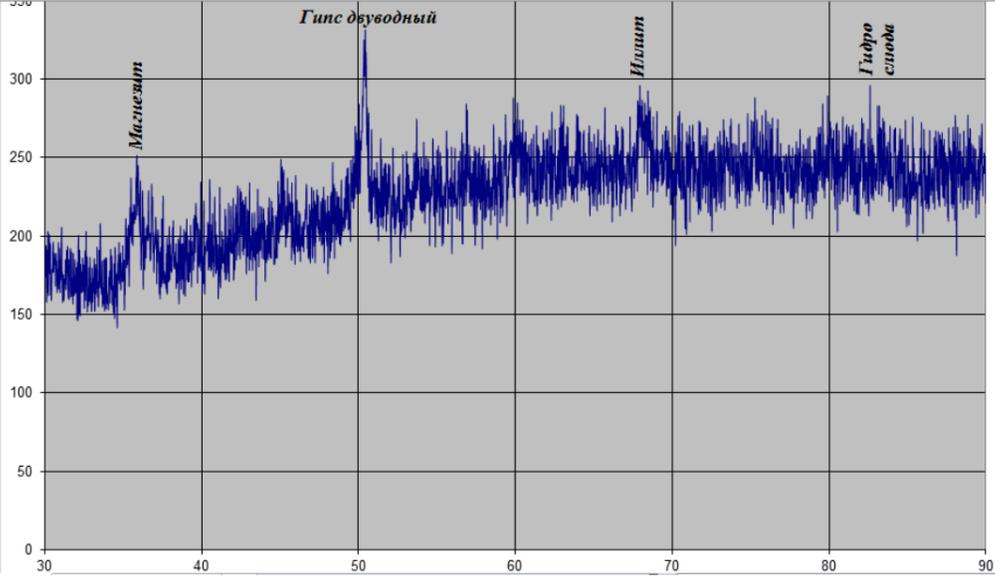

Арзыбаев А.М.

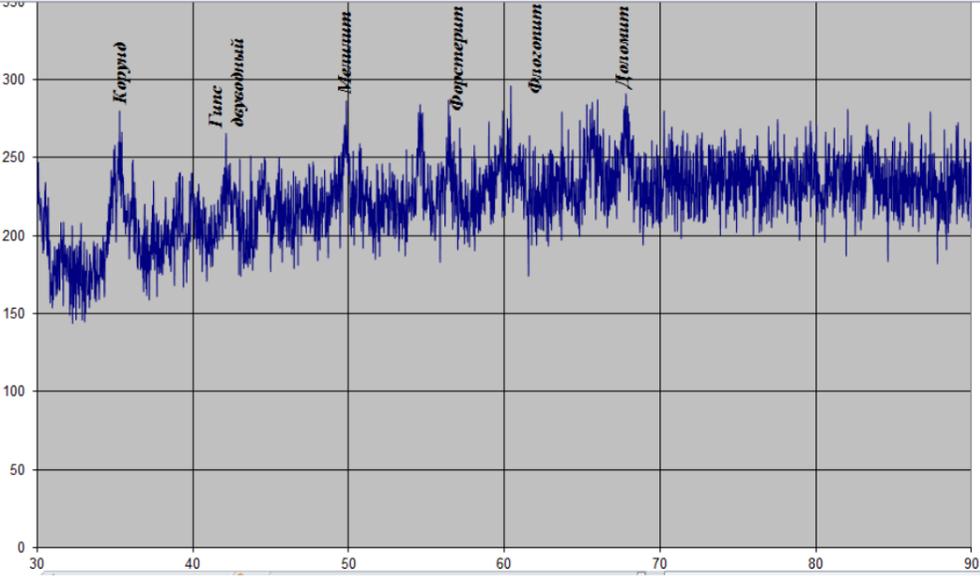
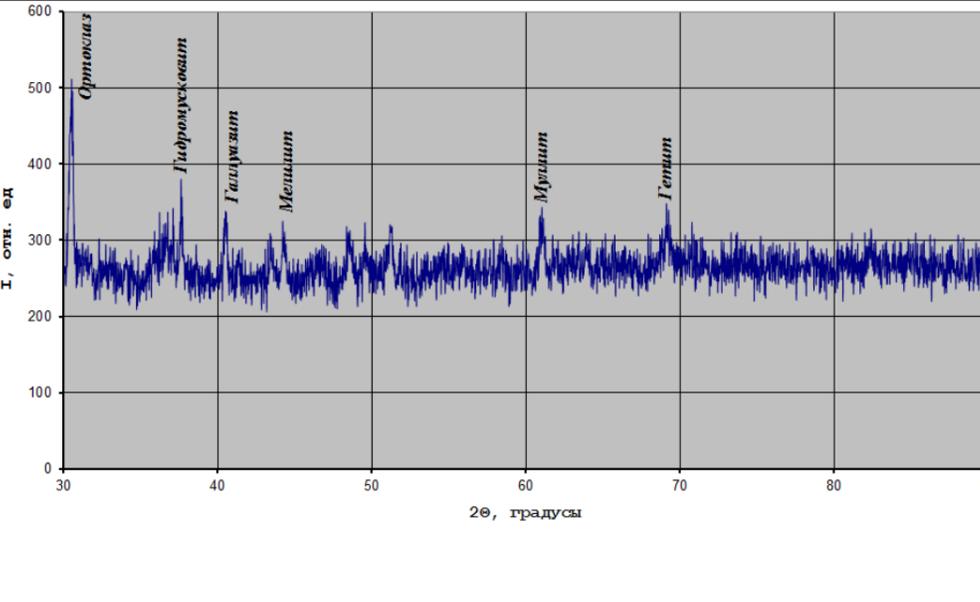
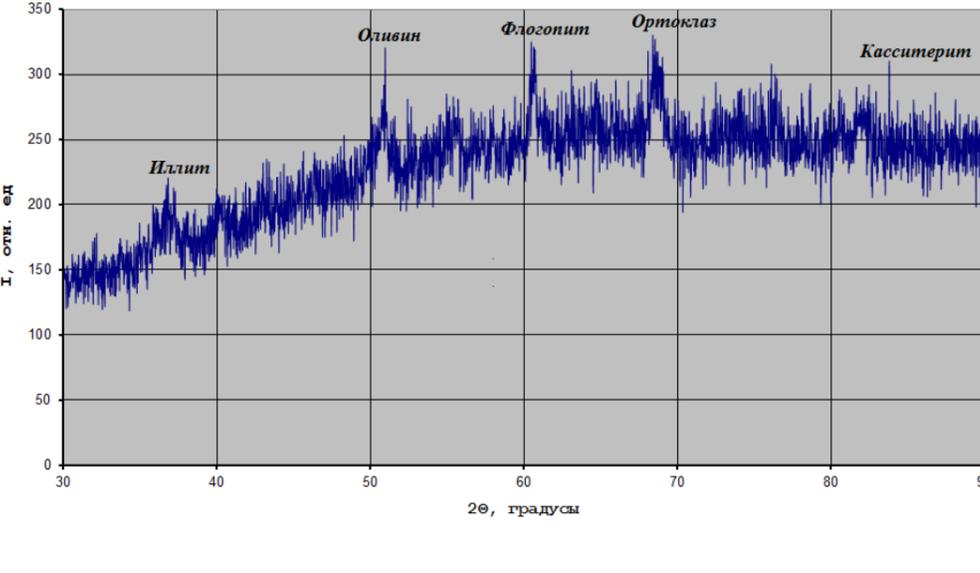
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

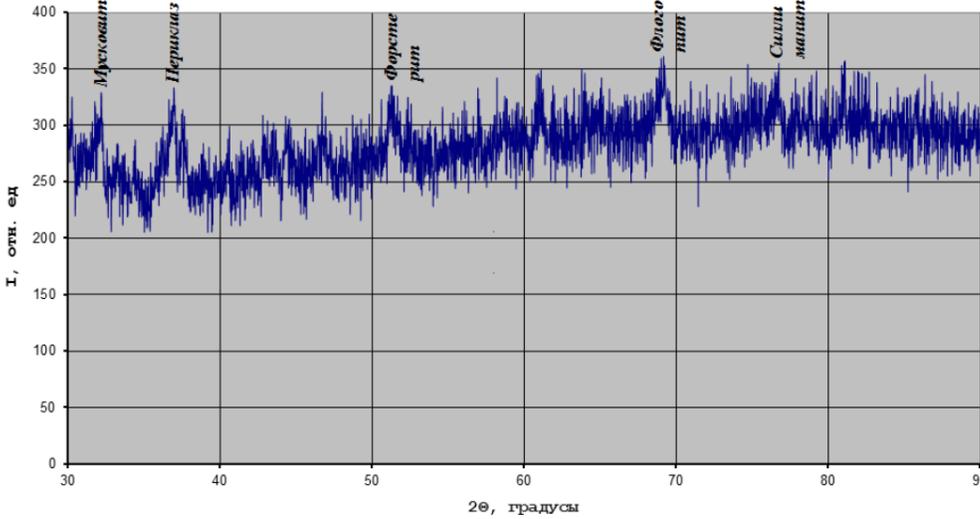
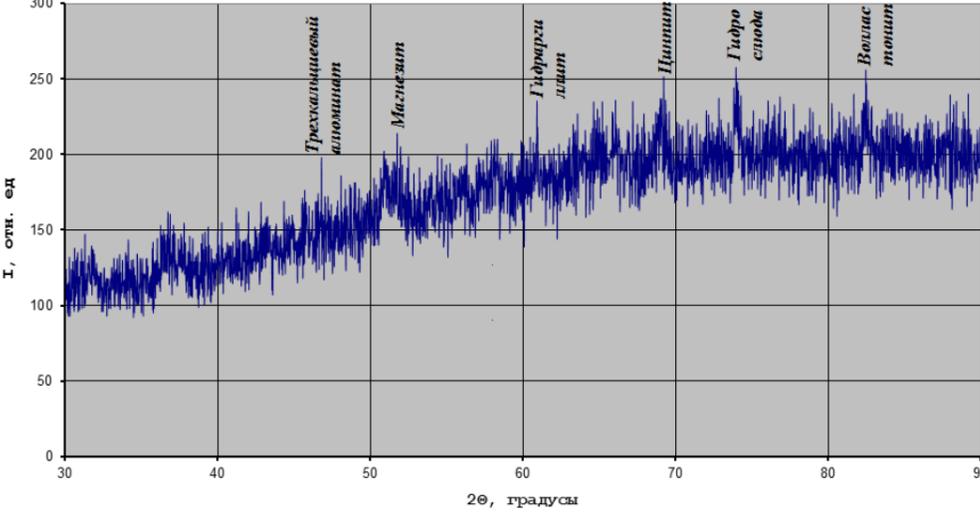
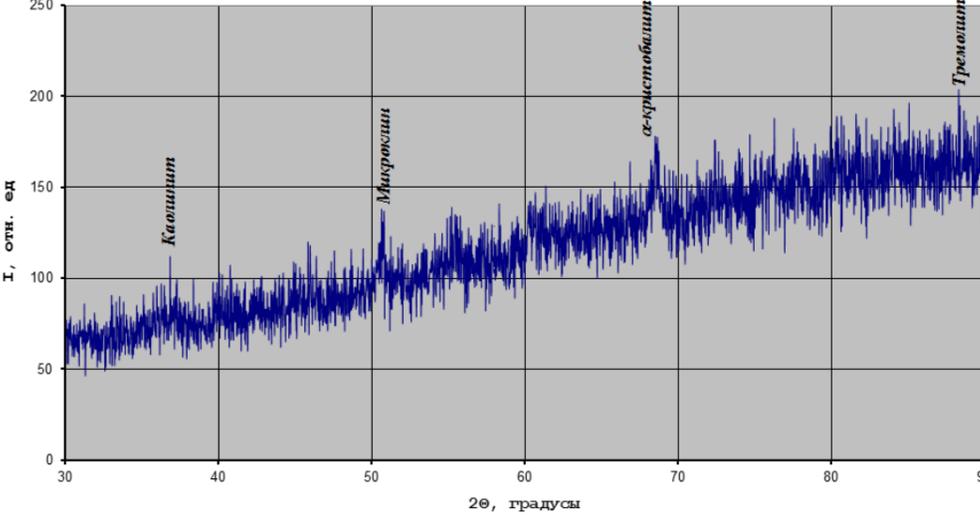
№	Местонахождение и период	Рентгенограмма керамических образцов	Микроструктура	Химический состав		HR	ρ , г/см ³	В, %	П _о , %	t, °C
1.	бассейн р. Тосор, Иссyk-Кульская долина, II тыс. до н.э.			SiO ₂	62,26	16	1,56	28,41	44,40	500-600
				Al ₂ O ₃	18,20					
				CaO	6,09					
				K ₂ O	5,45					
				Fe ₂ O ₃	3,61					
				Na ₂ O	1,58					
				MgO	1,15					
				P ₂ O ₅	0,425					
				TiO ₂	0,338					
				S	0,258					
				BaO	0,0794					
				MnO ₂	0,0758					
				SrO	0,0346					
				Cr ₂ O ₃	0,0339					
				ZrO ₂	0,0339					
2.	с. Уч-Курбу, Иссyk-Кульская долина, III-II вв. до н.э.			SiO ₂	56,92	22,7	1,62	26,94	44,84	650-850
				Al ₂ O ₃	26,06					
				Fe ₂ O ₃	10,55					
				K ₂ O	3,58					
				MgO	1,43					
				TiO ₂	0,59					
				CaO	0,502					
				MnO ₂	0,0612					
				V ₂ O ₅	0,0469					
				ZrO ₂	0,0271					
				SrO	0,0266					
				BaO	0,0194					
				Rb ₂ O	0,0130					
				ZnO	0,0104					
				Cr ₂ O ₃	0,0079					

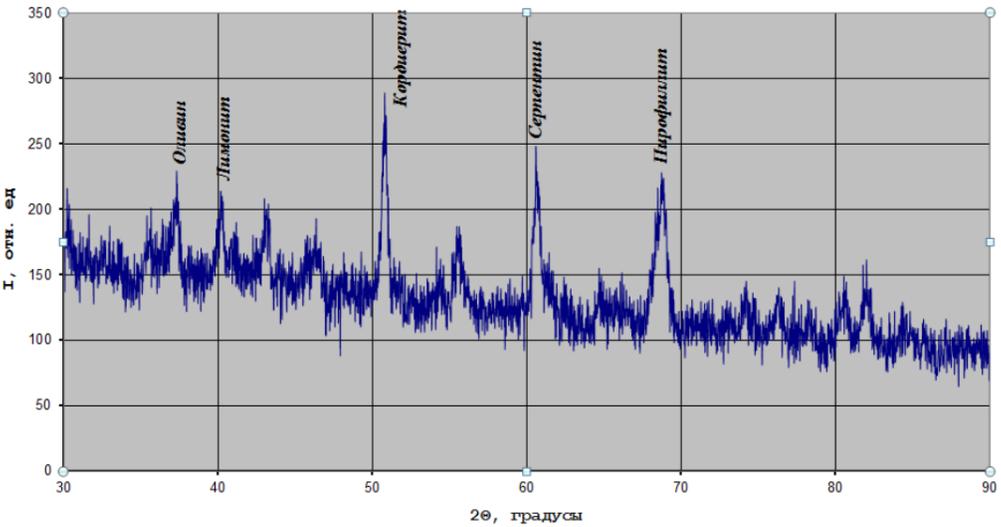
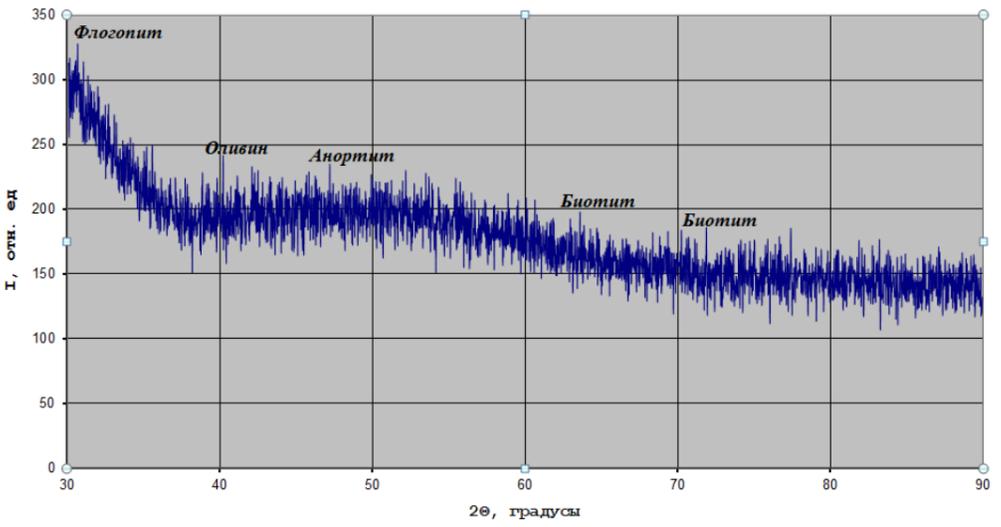
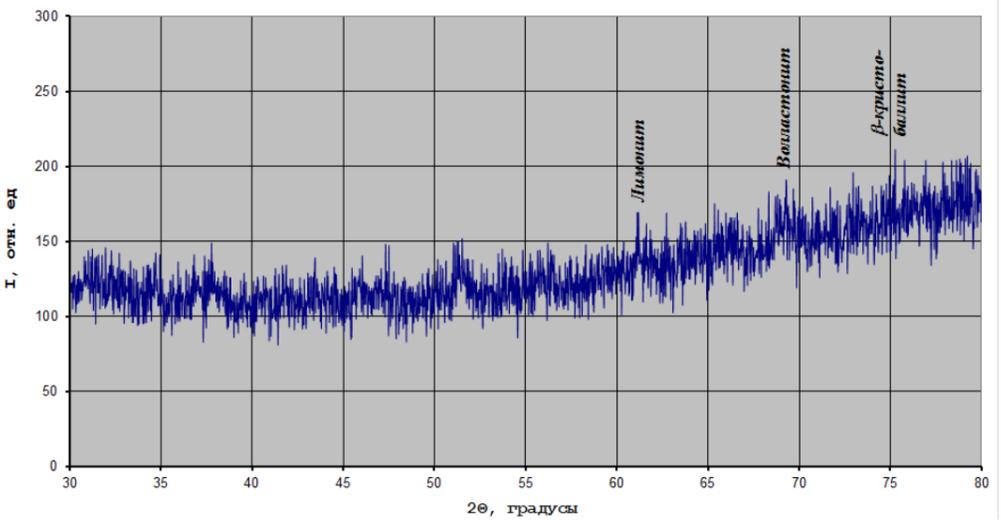
3.	бассейн р. Тосор, Иссык-Кульская долина, II-III вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>70,35</td><td>27,7</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>20,00</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>3,14</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>2,45</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>1,36</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>0,77</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,713</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>0,540</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>0,140</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0481</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0234</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0209</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0164</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,0150</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0137</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	70,35	27,7	Al ₂ O ₃	20,00		Fe ₂ O ₃	3,14		K ₂ O	2,45		CaO	1,36		Na ₂ O	0,77		TiO ₂	0,713		MgO	0,540		S	0,140		ZrO ₂	0,0481		V ₂ O ₅	0,0234		SrO	0,0209		BaO	0,0164		MnO ₂	0,0150		Rb ₂ O	0,0137		1,82	16,78	30,54	700-900
SiO ₂	70,35	27,7																																																			
Al ₂ O ₃	20,00																																																				
Fe ₂ O ₃	3,14																																																				
K ₂ O	2,45																																																				
CaO	1,36																																																				
Na ₂ O	0,77																																																				
TiO ₂	0,713																																																				
MgO	0,540																																																				
S	0,140																																																				
ZrO ₂	0,0481																																																				
V ₂ O ₅	0,0234																																																				
SrO	0,0209																																																				
BaO	0,0164																																																				
MnO ₂	0,0150																																																				
Rb ₂ O	0,0137																																																				
4.	с. Жаркынбаево, Иссык-Кульская долина, II-III вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>47</td><td>83,8</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17,39</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>10,27</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,74</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>3,86</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>3,83</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>2,82</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>2,75</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,576</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,136</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0728</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0655</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0476</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0328</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0236</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	47	83,8	Al ₂ O ₃	17,39		CaO	10,27		Fe ₂ O ₃	7,74		Na ₂ O	3,86		K ₂ O	3,83		S	2,82		MgO	2,75		TiO ₂	0,576		MnO ₂	0,136		BaO	0,0728		SrO	0,0655		Cr ₂ O ₃	0,0476		ZrO ₂	0,0328		V ₂ O ₅	0,0236		1,88	14,66	27,54	800-900
SiO ₂	47	83,8																																																			
Al ₂ O ₃	17,39																																																				
CaO	10,27																																																				
Fe ₂ O ₃	7,74																																																				
Na ₂ O	3,86																																																				
K ₂ O	3,83																																																				
S	2,82																																																				
MgO	2,75																																																				
TiO ₂	0,576																																																				
MnO ₂	0,136																																																				
BaO	0,0728																																																				
SrO	0,0655																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0476																																																				
ZrO ₂	0,0328																																																				
V ₂ O ₅	0,0236																																																				
5.	с. Красная речка, Чуйская долина, VIII-IX вв			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>45,62</td><td>90,7</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>16,86</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>8,46</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>7,72</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>7,45</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>4,15</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>2,25</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>2,16</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,649</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,194</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0757</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0500</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0377</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0270</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0244</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	45,62	90,7	Al ₂ O ₃	16,86		Fe ₂ O ₃	8,46		CaO	7,72		Na ₂ O	7,45		K ₂ O	4,15		S	2,25		MgO	2,16		TiO ₂	0,649		MnO ₂	0,194		BaO	0,0757		SrO	0,0500		ZrO ₂	0,0377		V ₂ O ₅	0,0270		Rb ₂ O	0,0244		1,88	17,66	33,33	650-800
SiO ₂	45,62	90,7																																																			
Al ₂ O ₃	16,86																																																				
Fe ₂ O ₃	8,46																																																				
CaO	7,72																																																				
Na ₂ O	7,45																																																				
K ₂ O	4,15																																																				
S	2,25																																																				
MgO	2,16																																																				
TiO ₂	0,649																																																				
MnO ₂	0,194																																																				
BaO	0,0757																																																				
SrO	0,0500																																																				
ZrO ₂	0,0377																																																				
V ₂ O ₅	0,0270																																																				
Rb ₂ O	0,0244																																																				

6.	башня Бурана, Чуйская долина VIII-X вв.	 <p>XRD pattern for sample 6. The y-axis is intensity (I, arb. units) from 0 to 350. The x-axis is 2θ (degrees) from 30 to 90. Peaks are labeled: Трисульфат алюминия (~35°), Тальк (~38°), Серпентин (~45°), Форстерит (~50°), Гидрат гипса (~60°), окисленный битум (~78°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>51,14</td><td>102</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17,32</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>9,57</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>8,99</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>6,16</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>2,53</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>1,20</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,920</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,838</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>0,209</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,183</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,122</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0837</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0491</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,028</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	51,14	102	Al ₂ O ₃	17,32		Fe ₂ O ₃	9,57		CaO	8,99		K ₂ O	6,16		MgO	2,53		Na ₂ O	1,20		P ₂ O ₅	0,920		TiO ₂	0,838		S	0,209		MnO ₂	0,183		BaO	0,122		SrO	0,0837		ZrO ₂	0,0491		V ₂ O ₅	0,028		1,85	15,44	28,57	700-850
SiO ₂	51,14	102																																																			
Al ₂ O ₃	17,32																																																				
Fe ₂ O ₃	9,57																																																				
CaO	8,99																																																				
K ₂ O	6,16																																																				
MgO	2,53																																																				
Na ₂ O	1,20																																																				
P ₂ O ₅	0,920																																																				
TiO ₂	0,838																																																				
S	0,209																																																				
MnO ₂	0,183																																																				
BaO	0,122																																																				
SrO	0,0837																																																				
ZrO ₂	0,0491																																																				
V ₂ O ₅	0,028																																																				
7.	с. Кан-Добо, (Туура-Суу) Иссык-Кульская долина, X-XII вв.	 <p>XRD pattern for sample 7. The y-axis is intensity (I, arb. units) from 0 to 500. The x-axis is 2θ (degrees) from 30 to 90. Peaks are labeled: Тальк (~35°), Форстерит (~40°), Непфелин (~45°), Флюоропатит (~48°), Дикальций фосфат (~50°), Гипс безводный (~55°), Ортоклаз (~68°), β-кальций фосфат (~78°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>52,38</td><td>112,2</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>20,51</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>9,05</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>7,18</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>6,49</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,33</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,532</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,172</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>0,128</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0643</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0331</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0318</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0255</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0217</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0187</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	52,38	112,2	Al ₂ O ₃	20,51		CaO	9,05		K ₂ O	7,18		Fe ₂ O ₃	6,49		MgO	3,33		TiO ₂	0,532		MnO ₂	0,172		S	0,128		BaO	0,0643		SrO	0,0331		ZrO ₂	0,0318		Cr ₂ O ₃	0,0255		Rb ₂ O	0,0217		V ₂ O ₅	0,0187		1,91	14,72	28,24	900-1000
SiO ₂	52,38	112,2																																																			
Al ₂ O ₃	20,51																																																				
CaO	9,05																																																				
K ₂ O	7,18																																																				
Fe ₂ O ₃	6,49																																																				
MgO	3,33																																																				
TiO ₂	0,532																																																				
MnO ₂	0,172																																																				
S	0,128																																																				
BaO	0,0643																																																				
SrO	0,0331																																																				
ZrO ₂	0,0318																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0255																																																				
Rb ₂ O	0,0217																																																				
V ₂ O ₅	0,0187																																																				
8.	поселение Кайнар Иссык-Кульская долина, X-XII вв.	 <p>XRD pattern for sample 8. The y-axis is intensity (I, arb. units) from 0 to 250. The x-axis is 2θ (degrees) from 30 to 90. Peaks are labeled: Флюоропатит (~35°), Анатаз (~38°), Гидроксилапатит (~85°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>54,62</td><td>113,6</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>21,84</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>9,16</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>4,51</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>3,99</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,94</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,784</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,755</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,146</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,075</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0422</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0363</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0290</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0225</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0149</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	54,62	113,6	Al ₂ O ₃	21,84		Fe ₂ O ₃	9,16		CaO	4,51		K ₂ O	3,99		MgO	3,94		P ₂ O ₅	0,784		TiO ₂	0,755		MnO ₂	0,146		BaO	0,075		SrO	0,0422		ZrO ₂	0,0363		V ₂ O ₅	0,0290		Rb ₂ O	0,0225		ZnO	0,0149		1,89	14,53	27,50	850-950
SiO ₂	54,62	113,6																																																			
Al ₂ O ₃	21,84																																																				
Fe ₂ O ₃	9,16																																																				
CaO	4,51																																																				
K ₂ O	3,99																																																				
MgO	3,94																																																				
P ₂ O ₅	0,784																																																				
TiO ₂	0,755																																																				
MnO ₂	0,146																																																				
BaO	0,075																																																				
SrO	0,0422																																																				
ZrO ₂	0,0363																																																				
V ₂ O ₅	0,0290																																																				
Rb ₂ O	0,0225																																																				
ZnO	0,0149																																																				

9.	с. Кызыл-Сеңир, Сузакский район, X-XII вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>57,77</td><td>100,7</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>18,88</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>8,90</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>6,30</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,98</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>1,94</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>1,02</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,734</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,111</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0922</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>0,063</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0377</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0270</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0242</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0184</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0133</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0103</td><td></td></tr> <tr><td>Y₂O₃</td><td>0,0051</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	57,77	100,7	Al ₂ O ₃	18,88		Fe ₂ O ₃	8,90		K ₂ O	6,30		MgO	3,98		CaO	1,94		P ₂ O ₅	1,02		TiO ₂	0,734		MnO ₂	0,111		BaO	0,0922		S	0,063		ZrO ₂	0,0377		V ₂ O ₅	0,0270		SrO	0,0242		Rb ₂ O	0,0184		ZnO	0,0133		Cr ₂ O ₃	0,0103		Y ₂ O ₃	0,0051		2,02	12,93	26,12	800-1000
SiO ₂	57,77	100,7																																																												
Al ₂ O ₃	18,88																																																													
Fe ₂ O ₃	8,90																																																													
K ₂ O	6,30																																																													
MgO	3,98																																																													
CaO	1,94																																																													
P ₂ O ₅	1,02																																																													
TiO ₂	0,734																																																													
MnO ₂	0,111																																																													
BaO	0,0922																																																													
S	0,063																																																													
ZrO ₂	0,0377																																																													
V ₂ O ₅	0,0270																																																													
SrO	0,0242																																																													
Rb ₂ O	0,0184																																																													
ZnO	0,0133																																																													
Cr ₂ O ₃	0,0103																																																													
Y ₂ O ₃	0,0051																																																													
10.	с. Эпкин Кочкорский район, X-XII вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>58,14</td><td>108</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>19,71</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>7,50</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>6,31</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>4,29</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>2,48</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,552</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,385</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,163</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0873</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0356</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0289</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0214</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0206</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0197</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	58,14	108	Al ₂ O ₃	19,71		CaO	7,50		Fe ₂ O ₃	6,31		K ₂ O	4,29		MgO	2,48		TiO ₂	0,552		P ₂ O ₅	0,385		MnO ₂	0,163		BaO	0,0873		ZrO ₂	0,0356		SrO	0,0289		Rb ₂ O	0,0214		ZnO	0,0206		V ₂ O ₅	0,0197		1,93	14,99	30,01	1000-1200									
SiO ₂	58,14	108																																																												
Al ₂ O ₃	19,71																																																													
CaO	7,50																																																													
Fe ₂ O ₃	6,31																																																													
K ₂ O	4,29																																																													
MgO	2,48																																																													
TiO ₂	0,552																																																													
P ₂ O ₅	0,385																																																													
MnO ₂	0,163																																																													
BaO	0,0873																																																													
ZrO ₂	0,0356																																																													
SrO	0,0289																																																													
Rb ₂ O	0,0214																																																													
ZnO	0,0206																																																													
V ₂ O ₅	0,0197																																																													

11.				<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>52,94</td><td>76</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>18,03</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>12,66</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>6,94</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,90</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>2,13</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>2,04</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,636</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,248</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,138</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0738</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0715</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0283</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,028</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0237</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	52,94	76	Al ₂ O ₃	18,03		CaO	12,66		Fe ₂ O ₃	6,94		MgO	3,90		Na ₂ O	2,13		K ₂ O	2,04		TiO ₂	0,636		P ₂ O ₅	0,248		MnO ₂	0,138		SrO	0,0738		BaO	0,0715		V ₂ O ₅	0,0283		ZrO ₂	0,028		ZnO	0,0237		1,67	23,63	39,58	600-700
SiO ₂	52,94	76																																																			
Al ₂ O ₃	18,03																																																				
CaO	12,66																																																				
Fe ₂ O ₃	6,94																																																				
MgO	3,90																																																				
Na ₂ O	2,13																																																				
K ₂ O	2,04																																																				
TiO ₂	0,636																																																				
P ₂ O ₅	0,248																																																				
MnO ₂	0,138																																																				
SrO	0,0738																																																				
BaO	0,0715																																																				
V ₂ O ₅	0,0283																																																				
ZrO ₂	0,028																																																				
ZnO	0,0237																																																				
12.	с. Кок-Жар Чуйская долина, X-XII вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>55,91</td><td>100,7</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>21,23</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,61</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>5,00</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>4,63</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,33</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>1,08</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,602</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>0,122</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,115</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,107</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0638</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0568</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0335</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0273</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	55,91	100,7	Al ₂ O ₃	21,23		Fe ₂ O ₃	7,61		K ₂ O	5,00		CaO	4,63		MgO	3,33		Na ₂ O	1,08		TiO ₂	0,602		S	0,122		MnO ₂	0,115		P ₂ O ₅	0,107		BaO	0,0638		Cr ₂ O ₃	0,0568		SrO	0,0335		ZrO ₂	0,0273		1,87	16,09	31,70	850-900
SiO ₂	55,91	100,7																																																			
Al ₂ O ₃	21,23																																																				
Fe ₂ O ₃	7,61																																																				
K ₂ O	5,00																																																				
CaO	4,63																																																				
MgO	3,33																																																				
Na ₂ O	1,08																																																				
TiO ₂	0,602																																																				
S	0,122																																																				
MnO ₂	0,115																																																				
P ₂ O ₅	0,107																																																				
BaO	0,0638																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0568																																																				
SrO	0,0335																																																				
ZrO ₂	0,0273																																																				
13.	городище Садыр-Курган Таласская долина, X-XII вв.			<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>55,15</td><td>110,5</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>18,46</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>9,97</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>6,96</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,61</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>3,04</td><td></td></tr> <tr><td>PbO</td><td>1,40</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,747</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,183</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,147</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,119</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0566</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0473</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0300</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0183</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	55,15	110,5	Al ₂ O ₃	18,46		CaO	9,97		Fe ₂ O ₃	6,96		MgO	3,61		K ₂ O	3,04		PbO	1,40		TiO ₂	0,747		P ₂ O ₅	0,183		MnO ₂	0,147		BaO	0,119		SrO	0,0566		ZrO ₂	0,0473		V ₂ O ₅	0,0300		Cr ₂ O ₃	0,0183		1,79	27,39	39,18	800-900
SiO ₂	55,15	110,5																																																			
Al ₂ O ₃	18,46																																																				
CaO	9,97																																																				
Fe ₂ O ₃	6,96																																																				
MgO	3,61																																																				
K ₂ O	3,04																																																				
PbO	1,40																																																				
TiO ₂	0,747																																																				
P ₂ O ₅	0,183																																																				
MnO ₂	0,147																																																				
BaO	0,119																																																				
SrO	0,0566																																																				
ZrO ₂	0,0473																																																				
V ₂ O ₅	0,0300																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0183																																																				

14.	с. Курменты Иссык-Кульская долина, X-XII вв.	 <p>XRD pattern for sample 14. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (0 to 400) and the x-axis is '2θ, градусы' (30 to 90). Peaks are labeled: Мусковит (~30°), Пирит (~38°), Форстерит (~52°), Флюорит (~69°), and Кремнезем (~81°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>53,71</td><td>103,6</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>20,27</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,40</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>6,32</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>5,07</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>2,54</td><td></td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>1,97</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>1,34</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,612</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,163</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0652</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0406</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0357</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0203</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0184</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	53,71	103,6	Al ₂ O ₃	20,27		Fe ₂ O ₃	7,40		CaO	6,32		K ₂ O	5,07		MgO	2,54		Na ₂ O	1,97		S	1,34		TiO ₂	0,612		MnO ₂	0,163		BaO	0,0652		SrO	0,0406		ZrO ₂	0,0357		V ₂ O ₅	0,0203		Rb ₂ O	0,0184		1,85	18,43	34,20	800-900
SiO ₂	53,71	103,6																																																			
Al ₂ O ₃	20,27																																																				
Fe ₂ O ₃	7,40																																																				
CaO	6,32																																																				
K ₂ O	5,07																																																				
MgO	2,54																																																				
Na ₂ O	1,97																																																				
S	1,34																																																				
TiO ₂	0,612																																																				
MnO ₂	0,163																																																				
BaO	0,0652																																																				
SrO	0,0406																																																				
ZrO ₂	0,0357																																																				
V ₂ O ₅	0,0203																																																				
Rb ₂ O	0,0184																																																				
15.	с. Красная речка Чуйская долина, X-XII вв.	 <p>XRD pattern for sample 15. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (0 to 300) and the x-axis is '2θ, градусы' (30 to 90). Peaks are labeled: Трехкальциевый алюминат (~48°), Магнетит (~52°), Гидроксицитрат (~62°), Цинцит (~69°), Гидроксида (~75°), and Вулканический пепел (~85°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>56,45</td><td>91</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>20,05</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,01</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>5,99</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>5,17</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,14</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,897</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,825</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,122</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0754</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,038</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0362</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0295</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0215</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0088</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	56,45	91	Al ₂ O ₃	20,05		Fe ₂ O ₃	7,01		CaO	5,99		K ₂ O	5,17		MgO	3,14		P ₂ O ₅	0,897		TiO ₂	0,825		MnO ₂	0,122		BaO	0,0754		SrO	0,038		ZrO ₂	0,0362		ZnO	0,0295		Rb ₂ O	0,0215		Cr ₂ O ₃	0,0088		1,71	17,67	30,27	700-850
SiO ₂	56,45	91																																																			
Al ₂ O ₃	20,05																																																				
Fe ₂ O ₃	7,01																																																				
CaO	5,99																																																				
K ₂ O	5,17																																																				
MgO	3,14																																																				
P ₂ O ₅	0,897																																																				
TiO ₂	0,825																																																				
MnO ₂	0,122																																																				
BaO	0,0754																																																				
SrO	0,038																																																				
ZrO ₂	0,0362																																																				
ZnO	0,0295																																																				
Rb ₂ O	0,0215																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0088																																																				
16.	городище Садыр-Курган Таласская долина, XI-XIII вв.	 <p>XRD pattern for sample 16. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (0 to 250) and the x-axis is '2θ, градусы' (30 to 90). Peaks are labeled: Кварц (~38°), Микроклин (~52°), α-кристобалит (~69°), and Тремолит (~85°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>54,89</td><td>110,5</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17,00</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>9,18</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>6,18</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>5,46</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>1,92</td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td>1,56</td><td></td></tr> <tr><td>PbO</td><td>1,31</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,586</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,142</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,133</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,043</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0418</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0256</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0203</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	54,89	110,5	Al ₂ O ₃	17,00		CaO	9,18		Fe ₂ O ₃	6,18		K ₂ O	5,46		MgO	1,92		S	1,56		PbO	1,31		TiO ₂	0,586		MnO ₂	0,142		BaO	0,133		ZrO ₂	0,043		SrO	0,0418		Rb ₂ O	0,0256		V ₂ O ₅	0,0203		1,82	17,63	32,07	800-850
SiO ₂	54,89	110,5																																																			
Al ₂ O ₃	17,00																																																				
CaO	9,18																																																				
Fe ₂ O ₃	6,18																																																				
K ₂ O	5,46																																																				
MgO	1,92																																																				
S	1,56																																																				
PbO	1,31																																																				
TiO ₂	0,586																																																				
MnO ₂	0,142																																																				
BaO	0,133																																																				
ZrO ₂	0,043																																																				
SrO	0,0418																																																				
Rb ₂ O	0,0256																																																				
V ₂ O ₅	0,0203																																																				

17.	башня Бурана Чуйская долина, XV-XVI вв.	 <p>XRD pattern for sample 17. The x-axis is labeled '2θ, градусы' (2θ, degrees) ranging from 30 to 90. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (I, relative units) ranging from 0 to 350. Peaks are labeled: Olivin (~38°), Лимонит (~42°), Кордиерит (~52°), Серпентин (~60°), and Пирофиллит (~68°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>52,89</td><td>110</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17,24</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>12,57</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,62</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>4,07</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>3,02</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,759</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,330</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,208</td><td></td></tr> <tr><td>PbO</td><td>0,157</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0884</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0495</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0294</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0270</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0144</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	52,89	110	Al ₂ O ₃	17,24		CaO	12,57		Fe ₂ O ₃	7,62		MgO	4,07		K ₂ O	3,02		TiO ₂	0,759		P ₂ O ₅	0,330		MnO ₂	0,208		PbO	0,157		BaO	0,0884		SrO	0,0495		ZrO ₂	0,0294		V ₂ O ₅	0,0270		ZnO	0,0144		2,06	9,85	20,29	1000-1200
SiO ₂	52,89	110																																																			
Al ₂ O ₃	17,24																																																				
CaO	12,57																																																				
Fe ₂ O ₃	7,62																																																				
MgO	4,07																																																				
K ₂ O	3,02																																																				
TiO ₂	0,759																																																				
P ₂ O ₅	0,330																																																				
MnO ₂	0,208																																																				
PbO	0,157																																																				
BaO	0,0884																																																				
SrO	0,0495																																																				
ZrO ₂	0,0294																																																				
V ₂ O ₅	0,0270																																																				
ZnO	0,0144																																																				
18.	башня Бурана Чуйская долина, XV-XVI вв.	 <p>XRD pattern for sample 18. The x-axis is labeled '2θ, градусы' (2θ, degrees) ranging from 30 to 90. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (I, relative units) ranging from 0 to 350. Peaks are labeled: Флогопит (~32°), Olivin (~38°), Анортит (~48°), Биотит (~62°), and another Биотит peak (~72°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>53,44</td><td>106,7</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17,13</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>13,25</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,79</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,47</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>3,05</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,792</td><td></td></tr> <tr><td>PbO</td><td>0,307</td><td></td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0,303</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,150</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,1080</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0489</td><td></td></tr> <tr><td>V₂O₅</td><td>0,0280</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0270</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0227</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	53,44	106,7	Al ₂ O ₃	17,13		CaO	13,25		Fe ₂ O ₃	7,79		MgO	3,47		K ₂ O	3,05		TiO ₂	0,792		PbO	0,307		P ₂ O ₅	0,303		MnO ₂	0,150		BaO	0,1080		SrO	0,0489		V ₂ O ₅	0,0280		ZrO ₂	0,0270		Cr ₂ O ₃	0,0227		1,91	12,59	24,09	900-1000
SiO ₂	53,44	106,7																																																			
Al ₂ O ₃	17,13																																																				
CaO	13,25																																																				
Fe ₂ O ₃	7,79																																																				
MgO	3,47																																																				
K ₂ O	3,05																																																				
TiO ₂	0,792																																																				
PbO	0,307																																																				
P ₂ O ₅	0,303																																																				
MnO ₂	0,150																																																				
BaO	0,1080																																																				
SrO	0,0489																																																				
V ₂ O ₅	0,0280																																																				
ZrO ₂	0,0270																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0227																																																				
19.	с. Ивановка Чуйская долина, современная керамика	 <p>XRD pattern for sample 19. The x-axis is labeled '2θ, градусы' (2θ, degrees) ranging from 30 to 80. The y-axis is labeled 'I, отн. ед.' (I, relative units) ranging from 0 to 300. Peaks are labeled: Лимонит (~62°), Волластонит (~68°), and β-кристобаллит (~75°).</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>56,44</td><td>85,5</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>23,53</td><td></td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>7,42</td><td></td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>4,14</td><td></td></tr> <tr><td>CaO</td><td>3,93</td><td></td></tr> <tr><td>MgO</td><td>3,49</td><td></td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0,634</td><td></td></tr> <tr><td>MnO₂</td><td>0,132</td><td></td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0,0654</td><td></td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>0,0333</td><td></td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0,0254</td><td></td></tr> <tr><td>Rb₂O</td><td>0,0236</td><td></td></tr> <tr><td>ZnO</td><td>0,0179</td><td></td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0,0075</td><td></td></tr> <tr><td>CuO</td><td>0,0052</td><td></td></tr> </tbody> </table>	SiO ₂	56,44	85,5	Al ₂ O ₃	23,53		Fe ₂ O ₃	7,42		K ₂ O	4,14		CaO	3,93		MgO	3,49		TiO ₂	0,634		MnO ₂	0,132		BaO	0,0654		ZrO ₂	0,0333		SrO	0,0254		Rb ₂ O	0,0236		ZnO	0,0179		Cr ₂ O ₃	0,0075		CuO	0,0052		1,81	17,80	32,25	1200
SiO ₂	56,44	85,5																																																			
Al ₂ O ₃	23,53																																																				
Fe ₂ O ₃	7,42																																																				
K ₂ O	4,14																																																				
CaO	3,93																																																				
MgO	3,49																																																				
TiO ₂	0,634																																																				
MnO ₂	0,132																																																				
BaO	0,0654																																																				
ZrO ₂	0,0333																																																				
SrO	0,0254																																																				
Rb ₂ O	0,0236																																																				
ZnO	0,0179																																																				
Cr ₂ O ₃	0,0075																																																				
CuO	0,0052																																																				