

## Средневековые обжиговые технологии воздушных и гидравлических известковых вяжущих веществ

*П.Д. Батаева*

*Комплексный научно-исследовательский институт им Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Грозный*

**Аннотация:** Для эффективного сохранения объектов культурного наследия (ОКН) необходимо выполнить комплекс инженерных, технических и научных мероприятий уже на этапе их регистрации и консервации. Комплексному исследованию подлежат предполагаемые работы по ремонту, восстановлению и реставрации ОКН. Для разработки современных ремонтно-реставрационных вяжущих и составов необходимо изучить традиционные или, так называемые кустарные технологии, которые применялись в старину - в поздний период и средние века. Знание кустарных технологий позволяет разработать вяжущие вещества и составы максимально приближенные к оригинальным (материнским). С точки зрения натурального изучения кустарных технологий производства известковых вяжущих веществ интересными являются, найденные в башенном комплексе «Шоан» сп. Гули Джейрахского района Республики Ингушетия, фрагменты обжиговых печей, изучению и исследованию которых посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** памятники истории и культуры, объекты культурного наследия, кустарные технологии, печи, обжиговые печи, рентгенофазовый анализ.

Фрагменты двух обжиговых печей сохранились и располагаются на территории башенного комплекса «Шоан» сп. Гули Джейрахского района Республики Ингушетия. Ингушские обжиговые печи отличаются простотой строения, возведения и футеровкой обжиговой зоны. Ингушские печи имеют естественную футеровку, сформировавшуюся в результате обжига до спекания, формирующих легкоплавких грунтов, на стадии ввода в эксплуатацию печей (Рисунки 1 - 4).

Форма двух обжиговых печей, представленных на рисунках 1-4, овальная, вытянутая в вертикальном направлении. Размер по вертикали составляет 3,5-4,0 м., по горизонтали: верх и низ овала – 1,5 – 1,7 м.; середина овала – 1,5 – 2,0 м.

Форма двух обжиговых печей, представленных на рисунках 1-4, овальная, вытянутая в вертикальном направлении. Размер по вертикали

составляет 3,5-4,0 м., по горизонтали: верх и низ овала – 1,5 – 1,7 м.; середина овала – 1,5 – 2,0 м.



Рисунок 1. – Фрагменты двух рядом расположенных обжиговых печей



Рисунок 2. – Остатки известняковых пород, использованных в качестве сырья для получения низкообжиговых вяжущих веществ



Рисунок 3. – Остатки обожженных глиняных, известняковых и карбонатных пород



Рисунок 4. – Разрез, определяющий форму обжиговой печи

Боковая поверхность печей сформирована из легкоплавких глин естественного сложения, содержащих сланцевую крошку, переведенных в спек с внутренней стороны из-за прямого контакта с огнем. Толщина спека составляет 6,0 -10,0 см. По мере снижения температуры спек переходит в

керамику толщиной 7,0 – 12,0 см. Таким образом общая толщина обожженного массива составляет 13 - 22 см.

На основании имеющейся фактической информации можно сделать заключение, что обжиговые печи сооружались путем выкапывания ям овальной формы возле бровки оврага или в месте крутого перегиба естественного рельефа для удобства обслуживания, доступа и достижения максимально эффективного режима тепломассопереноса при обжиге известняковых пород [1-3].

Затем, на стадии ввода в эксплуатацию печей, производили обжиг легкоплавких грунтов, формирующих обжиговую зону печи, до их спекания. Возможно при этом применяли поддув для подъема температуры обжига до 1300°C -1350°C.

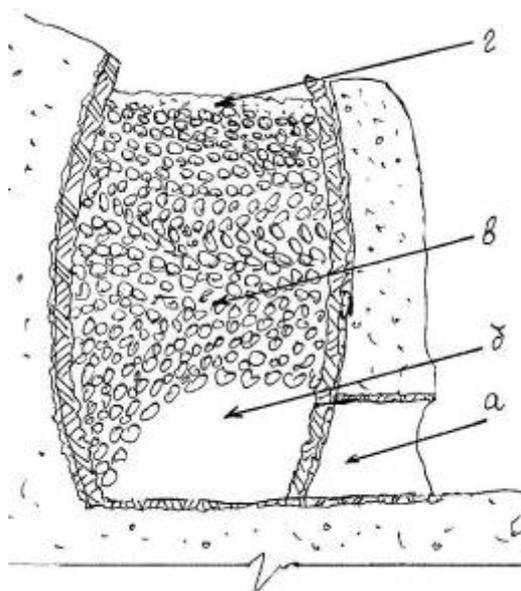


Рисунок 5. – Эскиз печи для обжига известняка сп. Гули РИ, а – нижнее топочное отверстие; б – топочная зона; в – загруженное в печь, с образованием арки жесткости, сырье; г – слой глиняной обмазки

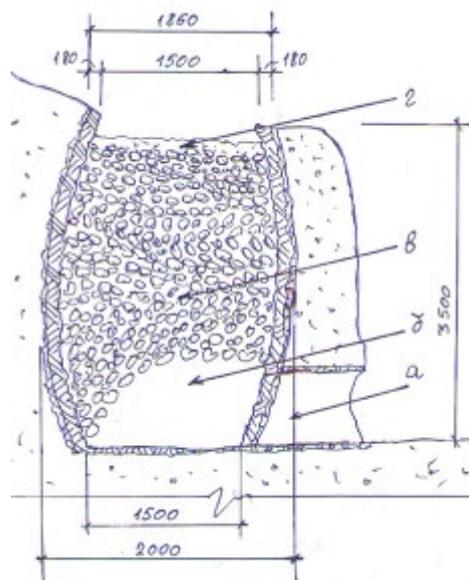


Рисунок 6. – Обмерный эскиз печи для обжига известняка сп. Гули РИ

Не исключается также версия обжига грунтов, формирующих внутреннюю поверхность, в процессе эксплуатации печей. Исходя из фотоматериала, представленного на рисунках 5.1-5.4, можно представить наиболее приближенные схемы-эскизы двух обжиговых печей (Рисунок 5, Рисунок 6), фрагменты которых располагаются в окрестности сп. Гули Джейрахского района РИ. Из печей произведен отбор проб для исследований (Рисунки 7-10).



Рисунок 7. – Проба 1, отобранная из боковой части обжиговой печи с наружной стороны



Рисунок 8. – Проба 2, отобранная из боковой части обжиговой печи с внутренней стороны



Рисунок 9. – Проба 3, отобранная из боковой верхней части обжиговой печи с внутренней стороны



Рисунок 10. – Проба 4, отобранная из обжиговой печи с нижней стороны

Проба 1 (Рисунок 7), отобрана из боковой части обжиговой печи с наружной стороны. Структура пористая, содержит обожженную при температуре до 1100°C глину с примесями различных карбонатных горных пород: известняков, доломитов, мергелей, песчаников и пр., переходящую в спек, сформировавшийся при воздействии температуры от 1100 °С до 1350°C [4-6].

Результата испытаний:

- плотность – 1,25 г/см<sup>3</sup>;
- содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,2 %;
- плотность истинная – 2,65 г/см<sup>3</sup>;
- плотность насыпная – 1,09 г/см<sup>3</sup>(в сухом состоянии);
- водонасыщение – 6,9 %;
- прочность на сжатие – 98 кгс/см<sup>2</sup>.

Результаты физико-механических испытаний позволяют сделать вывод о том, что проба 1 сформировалась из легкоплавких глин с карбонатными включениями при воздействии температур до 1350 °С и сторона конструктива, откуда отобрана проба 1, является боковой частью обжиговой печи.

Проба 2 (Рисунок 8), отобрана из боковой части обжиговой печи с внутренней стороны. Поверхностная структура рыхлая, содержит, полученное путем обжига карбонатной породы, при температуре до 1100°C, воздушное вяжущее вещество, слипшееся со спеком, сформировавшимся при воздействии температуры от 1100°C до 1350°C., переходящий в керамику (цемянку) с примесями различных карбонатных горных пород: известняков, доломитов, мергелей, песчаников и пр. Свойства, текстура и структура пробы 2 являются подтверждением, что сторона конструктива, откуда отобрана данная проба, является боковой частью обжиговой печи [7].

Проба 3 (Рисунок 9), отобрана из боковой верхней части обжиговой печи с внутренней стороны. Структура пористая, содержит спек,

---

сформировавшийся при воздействии температур от 1100°C до 1350°C. Спек переходит в керамику с примесями различных карбонатных горных пород: известняков, доломитов, мергелей, песчаников, сланцевой крошки и пр., обожженную при температуре до 1100°C, что также служит подтверждением, что сторона конструктива, откуда отобрана данная проба, является верхней боковой частью обжиговой печи [8].

Проба 4 (Рисунок 10), отобрана из нижней части обжиговой печи.

Результаты испытаний:

- плотность истинная – 2,43 г/см<sup>3</sup>;
- водонасыщение – 8,2 %.

По физико-механическим свойствам проба 4 представляет собой обожженный известняк, соответствующий ГОСТ 9179-2018.

Таким образом, подытоживая вышесказанное, можно предположить, что исследуемые фрагменты являются боковыми конструктивами для печей обжига карбонатных горных пород (печей для производства воздушных и гидравлических известковых вяжущих веществ) [9-10].

Гипсосодержащие вяжущие вещества можно получить двух типов:

- низкообжиговые гипсовые;
- высокообжиговые ангидритовые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие вещества возможно получить тепловой обработкой при температуре 110°C – 180 °C в низкотемпературных зонах обжиговой печи. Этот вид вяжущих состоит из полуводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , который получается путем выпаривания 1,5  $\text{H}_2\text{O}$  из двухводного природного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Низкообжиговые вяжущие вещества характеризуются быстрым твердением.

Медленно твердеющие высокообжиговые ангидритовые вяжущие вещества возможно получить в исследуемых обжиговых печах при

температуре обжига  $600^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$  из природного ангидрита  $\text{CaSO}_4$  и из природного гипса.

Низкообжиговыми гипсовыми вяжущими веществами являются: технический (высокопрочный) гипс, формовочный гипс, строительный гипс и гипс из гипсосодержащих материалов, высокообжиговыми – высокообжиговый гипс и ангидритовый цемент.

Ангидритовой вяжущее можно получить еще и помолом без обжига.

В качестве сырья при производстве гипсовых вяжущих веществ можно использовать природный двухводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ), содержащие примеси известняка, глины, песка и пр., запасы которых в большом количестве имеются в Джейрахском районе РИ.

Магнезиальные вяжущие вещества можно получать в виде каустического доломита. Каустический доломит – это порошок, состоящий из окиси магния ( $\text{MgCO}_3$ ) и углекислого кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), получаемый помолом обожженного при температуре  $650^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$  доломита ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ).

При разных температурах обжига можно получать:

- каустический доломит ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) при температуре  $650^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ ;
- доломитовый цемент ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) при температуре  $750^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$ ;
- доломитовую известь ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ) при температуре  $900^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$ .

Известь воздушную, состоящую преимущественно из окиси кальция ( $\text{CaO}$ ), можно получить кустарным способом в исследуемых обжиговых печах путем обжига известковых и известково-магнезиальных карбонатных пород (известняки, мел, доломиты, доломитизированные известняки и др.) до возможно максимального удаления углекислоты ( $\text{CO}_2$ ).

Воздушную известь можно получить следующих видов: комовая негашеная известь; молотая негашеная известь; гидратная известь (пушенка); карбонатная известь; известковое тесто.

---

Температура обжига сырья при получении воздушной извести колеблется от 900°C до 1250°C.

Путем обжига ниже температуры спекания (1350°C) мергелистых известняков, содержащих 5-25% глинистых и тонкодисперсных песчаных примесей, в исследуемых обжиговых печах можно получить гидравлическую известь, а при гидравлическом модуле ниже 1,7 можно получить романцемент. Однако, из-за отсутствия возможности тонкого помола продукта в рассматриваемый исторический период, версию получения романцемента следует исключить [11].

Исследование проб, отобранных из конструктивов обжиговых печей и продуктов обжига, осуществлялось на дифрактометре Shimadzu XRD – 6000. Для изучения морфологии проб сделаны снимки микроструктуры с использованием растрового электронного микроскопа РЭМ Quanta 3D 200 I (США). С целью изучения структуры и химсостава выпиливались четыре образца.

Дифрактограммы четырех образцов имеют межплоскостные расстояния (Рисунки 11 и 12):

-образец 1 – 0,3033/100; 0,3340/92; 0,2885/14;

-образец 2 – 0,2884/100; 0,3032/29; 0,3340/8;

-образец 3 – 0,2886/100; 0,3033/20; 0,3342/13;

-образец 4 – 0,2886/100; 0,3036/15; 0,3342/42.

Из дифрактограмм видно, что в образцах 1-4 основной пик интенсивностью 100% приходится на доломитовый минерал, а на увеличение содержания известкового вяжущего указывают незначительное уменьшение межплоскостных расстояний. Энергодисперсионным микроанализом с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ Quanta 3D 200 I (США) с параллельным исследованием морфологии и структуры определены химические составы образцов. Результаты энергодисперсионного

---

микроанализа представлены на рисунках 11-16. Химический состав образцов, полученный энергодисперсионным микроанализом приведены в таблице 1. Морфология и структуры исследованных образцов представлены микроскопическими фотографиями (Рисунок 17).

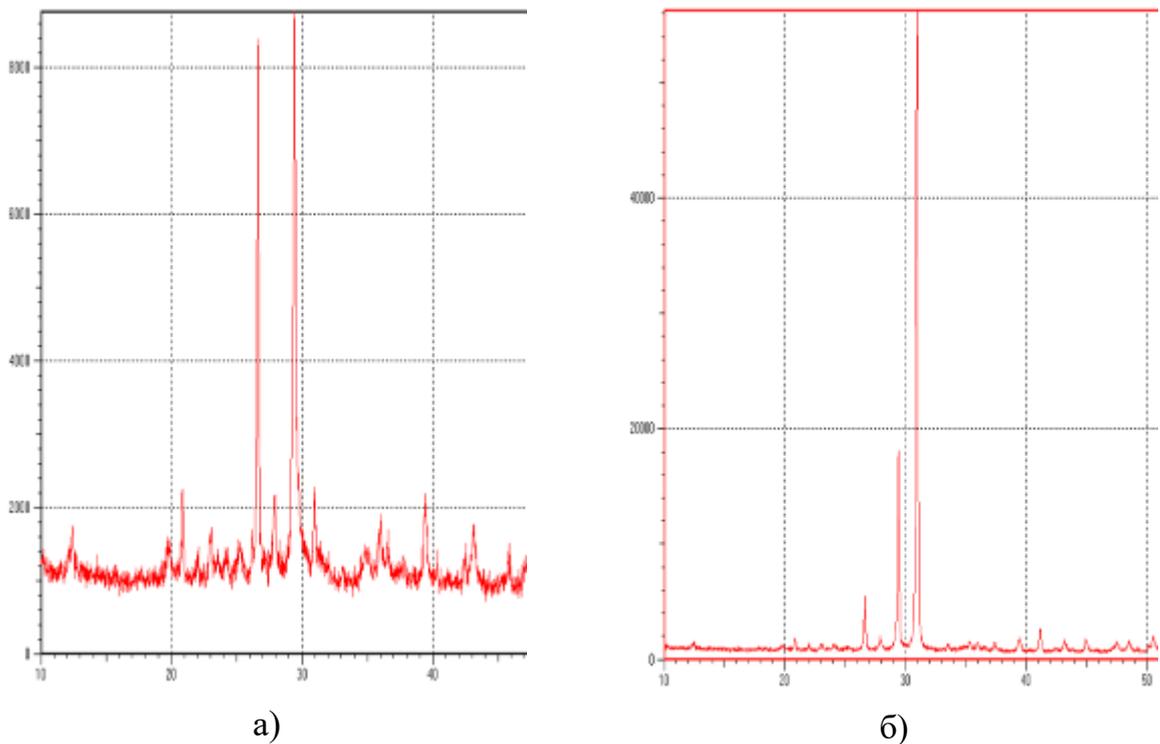
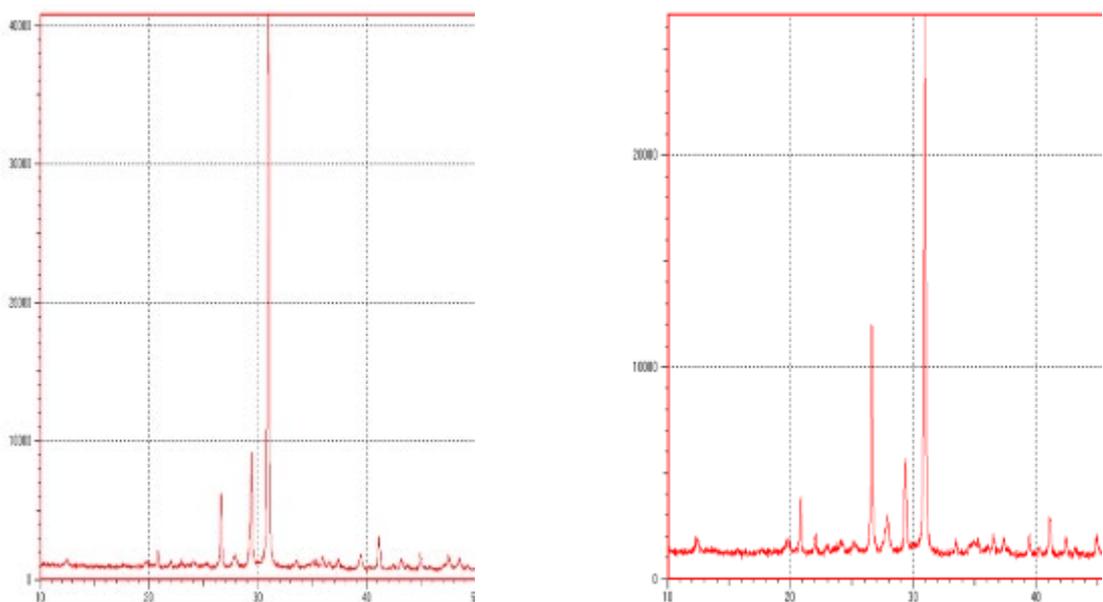


Рисунок 11. – Дифрактограммы образца 1 (а) и образца 2 (б) (Рис. 7, 8)



а)

б)

Рисунок 12. – Дифрактограммы образца 3 (а) и образца 4 (б) (Рис. 9, 10)

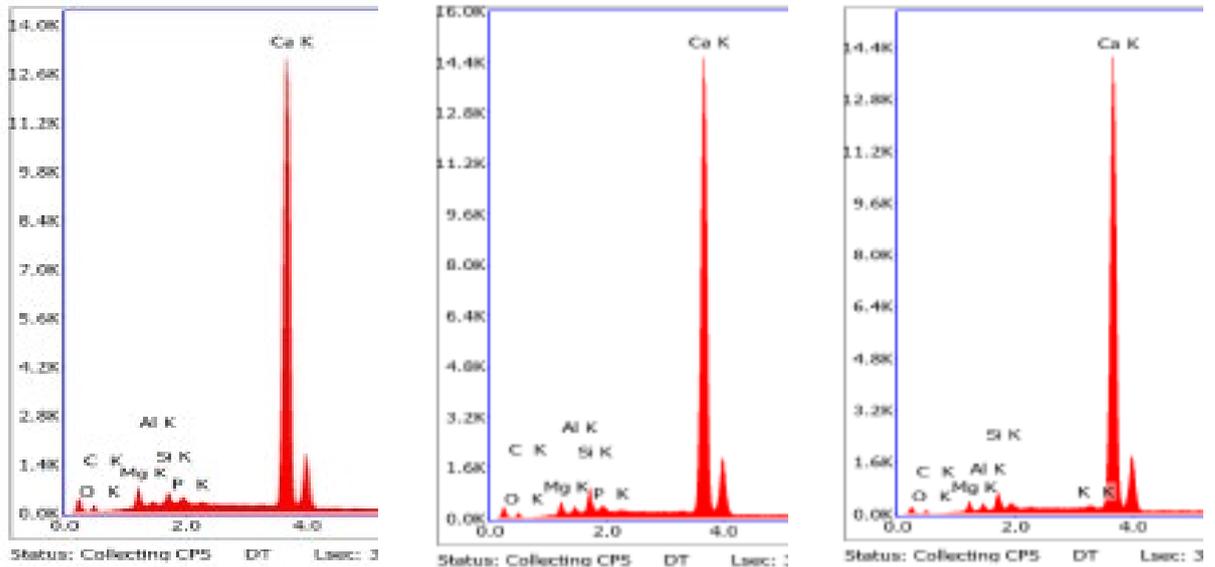


Рисунок 13. - Спектры EDX образца 1 (Рисунок 7)

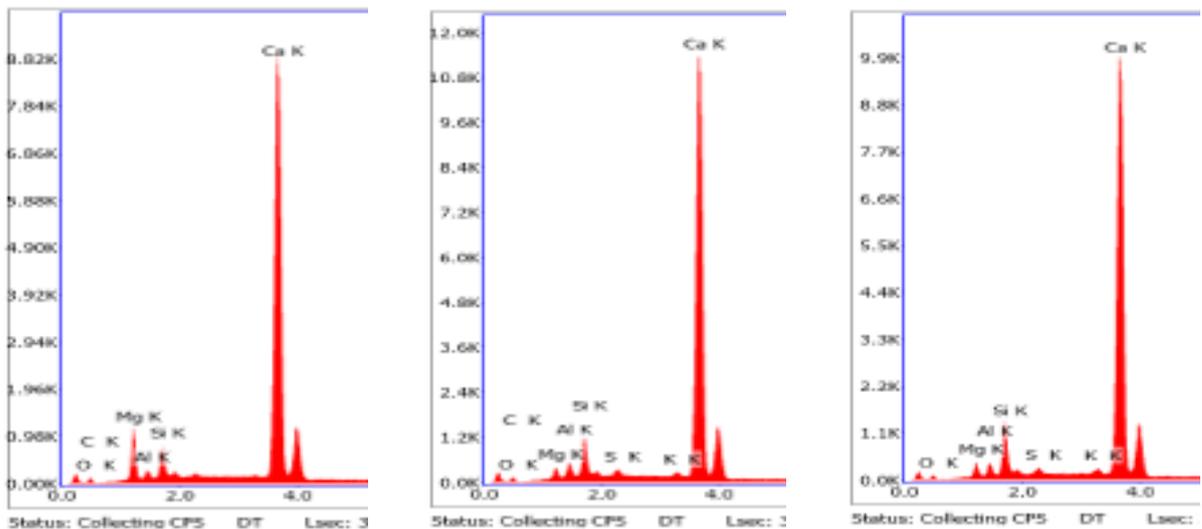


Рисунок 14. - Спектры EDX образца 2 (Рисунок 8)

На микрофотографиях видно большое количество пор и частиц, не имеющих определенную форму и размеры, что дает основание предположить присутствие в структуре компонентов разной природы: известняка, мергелей,

доломита, песчаников, гипсовых и ангидритовых включений и пр., что может являться сырьем для получения низкомарочных воздушных и гидравлических вяжущих веществ таких, как строительная известь, гидравлическая известь, романцемент, доломитовая известь, доломитовый цемент и др.

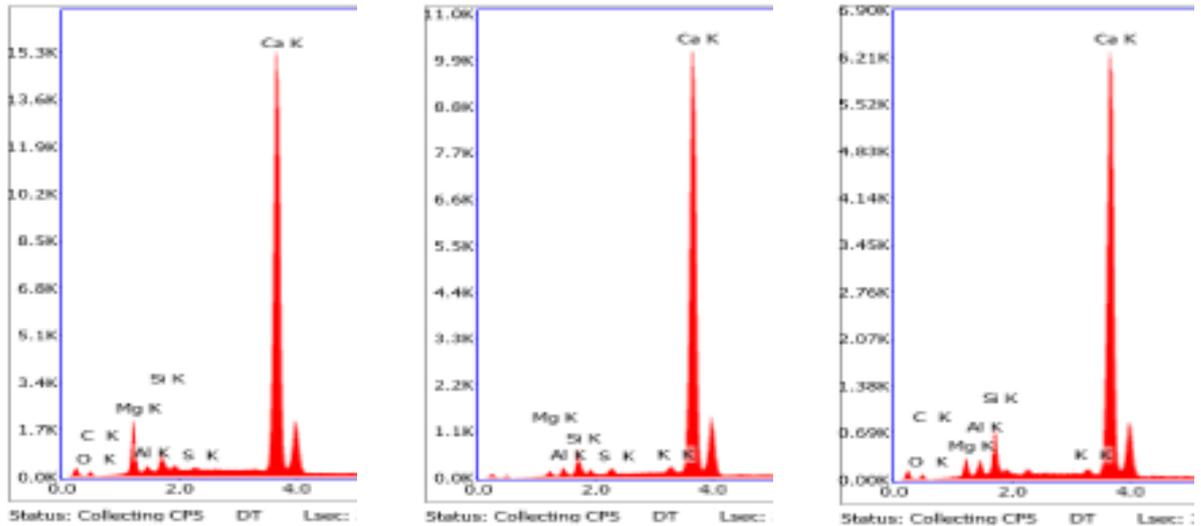


Рисунок 15. - Спектры EDX образца 3 (Рисунок 9)

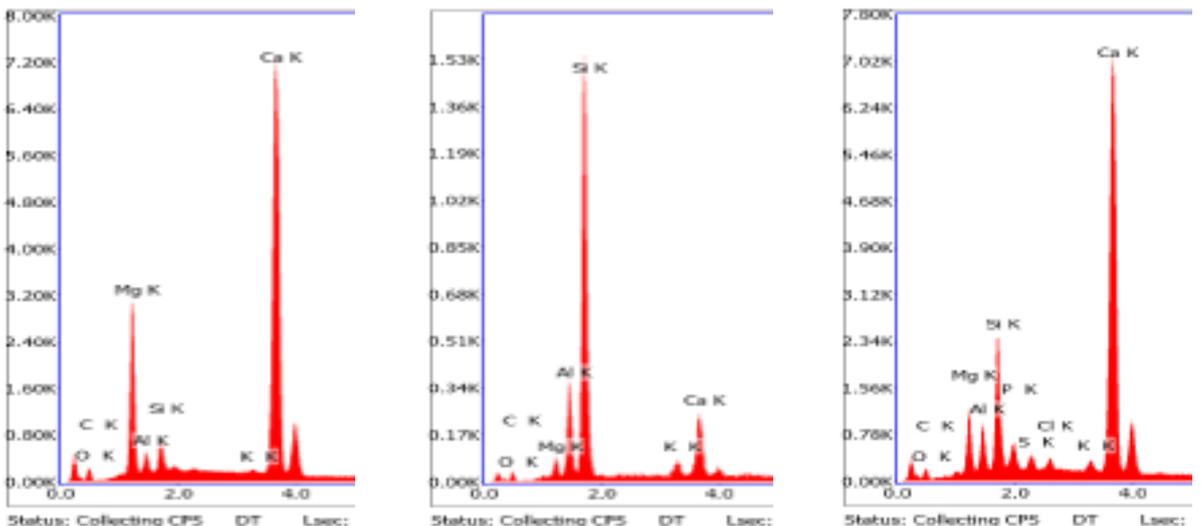


Рисунок 16. - Спектры EDX образца 4 (Рисунок 10)

Таблица 1. - Результаты энергодисперсионного микроанализа

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
Mg O	7.52	11.23	157.98	0.03
Al 2O3	10.27	6.06	272.39	0.02
Si O2	31.07	31.14	929.4	0.01
K 2O	1.6	1.02	136.56	0.07
Ca O	45.74	49.11	2885.03	0
Fe 2O3	3.8	1.43	152.63	0.05

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
Mg O	7.64	11.57	162.51	0.03
Al 2O3	11.02	6.6	286.15	0.02
Si O2	34.11	34.68	970.46	0.01
P 2O5	0.51	0.22	11.77	0.51
S O3	0.96	0.73	26.03	0.22
K 2O	1.88	1.22	153.59	0.07
Ca O	39.89	43.45	2464.72	0
Fe 2O3	4	1.53	154.38	0.04

Образец 1 (Рисунок 7)

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
Na 2O	1.12	1.18	19.66	0.15
Mg O	5.81	9.39	159.8	0.03
Al 2O3	15.95	10.2	539.05	0.01
Si O2	48.61	52.78	1660.08	0.01
P 2O5	0.61	0.28	15.68	0.17
K 2O	3.1	2.15	268.87	0.03
Ca O	18.39	21.39	1276.04	0.01
Fe 2O3	6.41	2.62	282.54	0.02

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
Mg O	8.84	13.39	224.38	0.02
Al 2O3	11.22	6.72	327.93	0.02
Si O2	34.89	35.43	1082.75	0.01
P 2O5	1.79	0.77	43.02	0.12
S O3	0.92	0.7	24.17	0.25
K 2O	1.63	1.06	142.43	0.07
Ca O	37.37	40.66	2475.69	0
Fe 2O3	3.33	1.27	136.67	0.06

Образец 2 (Рисунок 8)

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
C O2	27.86	31.94	81.15	0.03
Mg O	11.32	14.17	540.63	0.01
Al 2O3	1.13	0.56	56.17	0.08
Si O2	3.92	3.29	209.97	0.03
S O3	0.53	0.33	34.63	0.27
Ca O	55.25	49.71	6054.94	0

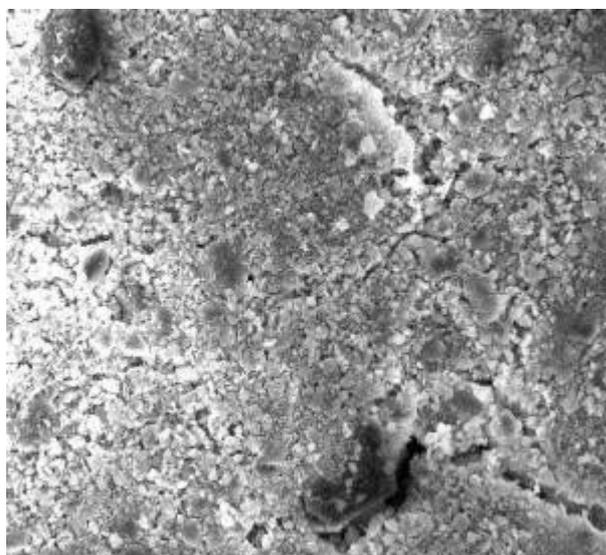
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
Mg O	15.59	21.01	213.28	0.02
Al 2O3	3.36	1.79	51.98	0.06
Si O2	7.15	6.46	123.01	0.04
K 2O	0.42	0.24	29.59	0.18
Ca O	72.4	70.13	3508.22	0
Fe 2O3	1.09	0.37	35.03	0.17

Образец 3 (Рисунок 9)

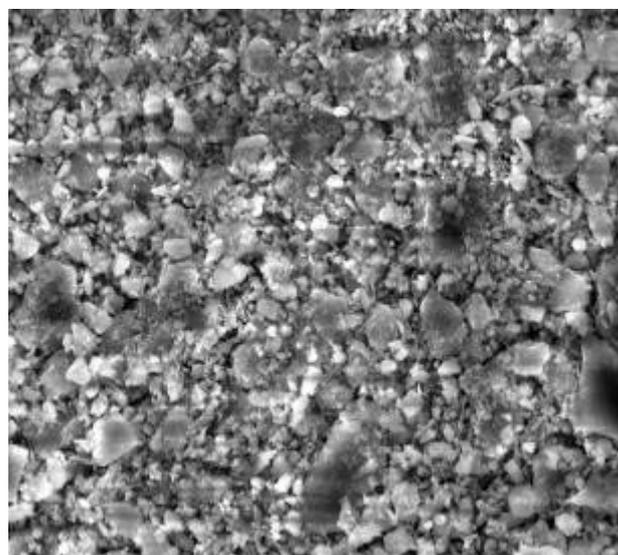
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
C O2	46.06	50.02	117.5	0.03
Mg O	16.12	19.11	877.82	0.01
Al 2O3	1.99	0.93	103.67	0.04
Si O2	3.1	2.47	166.35	0.03
K 2O	0.17	0.09	21.32	0.29
Ca O	31.9	27.19	2856.9	0
Fe 2O3	0.65	0.2	27.68	0.21

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
C O2	31.23	37.07	25.06	0.06
Mg O	10.26	13.29	113.79	0.03
Al 2O3	6.38	3.27	77.81	0.04
Si O2	6.43	5.59	86.52	0.04
P 2O5	0.68	0.25	8.93	0.3
K 2O	0.67	0.37	25.23	0.16
Ca O	42.43	39.53	1172.95	0.01
Fe 2O3	1.92	0.63	42.55	0.12

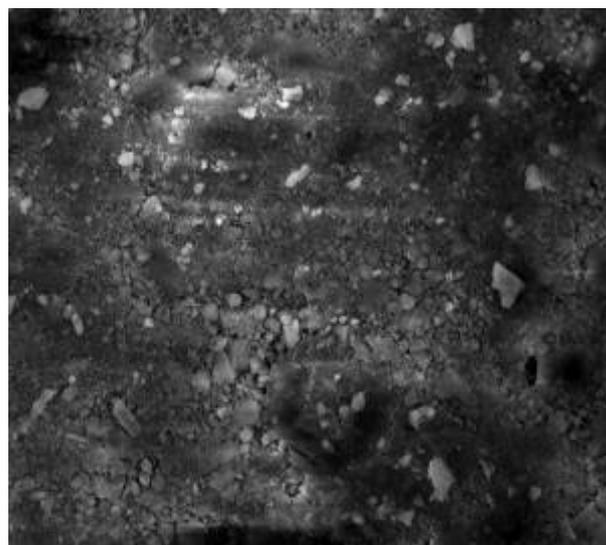
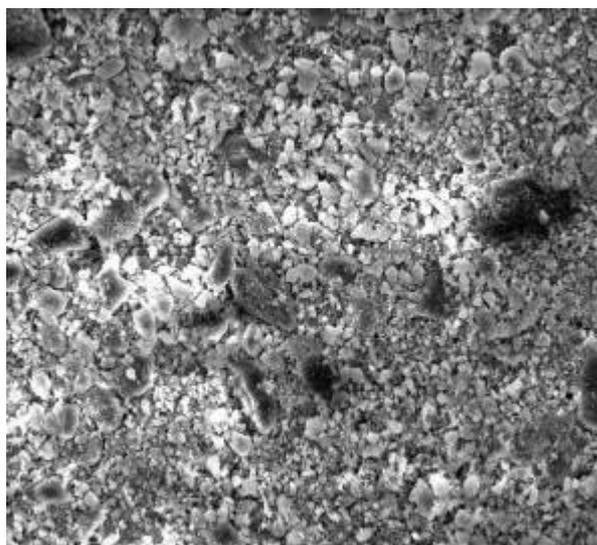
Образец 4 (Рисунок 10)



Образец 1



Образец 2



Образец 3

Образец 4

Рисунок 17.- Микроскопические фотографии морфологии и структуры образцов 1-4 (Рисунки 7-10)

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Пробы фрагментов-остатков предполагаемых памятников истории и культуры (Рисунки 7-10) представляют собой материал боковых конструктивов двух печей обжига карбонатных горных пород (печей для производства воздушных и гидравлических вяжущих веществ).

2. Обжиговые печи сооружены путем выкапывания ям овальной формы возле места крутого перегиба естественного рельефа для удобства обслуживания, доступа и достижения максимально эффективного режима тепломассопереноса при обжиге известняковых пород.

3. На микрофотографиях (Рисунок 17) видно большое количество пор и частиц, не имеющих определенную форму и размеры, что дает основание предположить присутствие в структуре компонентов разной природы: известняка, мергелей, доломита, песчаников, гипсовых и ангидритовых включений и пр., что может являться сырьем для получения воздушных и гидравлических вяжущих веществ таких, как строительная (воздушная) известь, гидравлическая известь, доломитовая известь, доломитовый цемент и пр.

4. Рентгенофазовый и энергодисперсионный анализ, а также микроанализ образцов проб сырья карбонатной природы и известковых (гидравлических и гидратных), гипсовых (гипсовых и ангидритовых) и магниезальных вяжущих веществ, взятых из обжиговых печей, позволили установить, что исследуемых двух обжиговых печах при разных температурных режимах получали:

-гипсовые вяжущие при температуре 110°C – 180 °C;

-ангидритовые вяжущие при температуре 600°C – 1000 °C;

- воздушную (строительную) известь при температуре 900°C - 1250°C;
- гидравлическую известь при температуре 1100°C - 1300°C;
- каустический доломит (MgO, CaCO<sub>3</sub>) при температуре 650°C – 750°C;
- доломитовый цемент (MgO, CaO, CaCO<sub>3</sub>) при температуре 750°C – 850°C;
- доломитовую известь (MgO, CaO) при температуре 900°C – 950°C.

5. Исследуемые две обжиговые печи башенного комплекса «Шоан» сп. Гули Джейрахского района Республики Ингушетия являются объектами культурного наследия (памятниками истории и культуры), подлежат охране в соответствии с действующим законодательством.

### Литература

1. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. М.: Учебное пособие для студ., 1995. С. 192.
2. Зворыкин Н.П. Метод укрепления каменных (кирпичных) кладок памятников архитектуры путем нагнетания растворов в трещины кладки. М.: Практика реставрационных работ, 1950. С. 173-192.
3. Кедринский А.А. Основы реставрации памятников архитектуры. М.: Обобщение опыта школы ленинградских реставраторов, 1999. С. 184.
4. Алексеев В.К., Гроздов В. Т., Тарасов В. А. Дефекты несущих конструкций зданий и сооружений, способы их устранения. М.: Стройиздат, 1982. С. 78.
5. Коровкин В.К., Андронов В.В. Сохранить на века (из опыта реставрации памятников архитектуры). // Строительство и архитектура Москвы, 1975. № 12. С. 20-21.

6. Кулемзин А.М. Методика сохранения и использования памятников истории и культуры: учебное пособие. Кемерово: Кемеровский государственный университет культуры и искусств (КемГУКИ), 2009. С. 107.
7. Зильберова И.Ю., Петров К.С., Пингин Е.Е. Современные требования к уровню знаний судебного строительно-технического эксперта // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/).
8. Багаев М.Х. Страницы древней истории Чечни. Грозный: ФГУП «ИПК «Грозненский рабочий»», 2012. С. 224.
9. Батаева П.Д. Магнезиальное вяжущее для приготовления ремонтно-реставрационного состава // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, 2020, № 4. С. 43-49.
10. Батаева П.Д. Обзор составов и технологий для ремонта и реставрации объектов культурного наследия // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, 2021, № 5. С. 49-53.
11. Шеина С.Г., Батаев Д.К-С., Даукаев А.А., Батаева П.Д., Батаев А.Д. Ресурсный потенциал горной части Чеченской Республики для производства современных ремонтно-реставрационных вяжущих и составов // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670)

### References

1. Bedov A.I., Saprykin V.F. Obsledovanie i rekonstrukcija zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij jekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij. [Inspection and reconstruction of reinforced concrete and stone structures of operated buildings and structures] М.: Uchebnoe posobie dlja stud. 1995. p. 192.
-

2. Zvorykin N.P. Metod ukrepleniya kamennyh (kirpichnyh) kladok pamjatnikov arhitektury putem nagnetaniya rastvorov v treshhiny kladki. [A method of strengthening stone (brick) masonry of architectural monuments by injecting mortars into cracks in the masonry] M.: Praktika restavracionnyh rabot. 1950. pp. 173-192.
3. Kedrinskij A.A. Osnovy restavracii pamjatnikov arhitektury. [Fundamentals of restoration of architectural monuments] M.: Obobshhenie opyta shkoly leningradskih restavrovatorov. 1999. p. 184.
4. Alekseev V.K., Grozdov V. T., Tarasov V. A. Defekty nesushhih konstrukcij zdaniy i sooruzhenij, sposoby ih ustraneniya. [Defects in load-bearing structures of buildings and structures, ways to eliminate them] M.: Strojizdat. 1982. p. 78.
5. Korovkin V.K., Andronov V.V. Stroitel'stvo i arhitektura Moskvy, 1975, № 12. pp. 20-21.
6. Kulemzin A.M. Metodika sohraneniya i ispol'zovaniya pamjatnikov istorii i kul'tury: uchebnoe posobie. [Methods of preservation and use of historical and cultural monuments] Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet kul'tury i iskusstv (KemGUKI). 2009. p. 107.
7. Zil'berova I.Ju., Petrov K.S., Pingin E.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/).
8. Bagaev M.H. Stranicy drevnej istorii Chechni. [Pages of the ancient history of Chechnya]. Groznyj: FGUP «IPK «Groznskiy rabochij»». 2012. p. 224.
9. Bataeva P.D. Vestnik Kompleksnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. H.I. Ibragimova Rossijskoj akademii nauk, 2020, № 4. pp. 43-49.
10. Bataeva P.D. Vestnik Kompleksnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. H.I. Ibragimova Rossijskoj akademii nauk, 2021, № 5. pp. 49-53.



11. Sheina S.G., Bataev D.K-S., Daukaev A.A., Bataeva P.D., Bataev A.D.  
Inzhenernyy vestnik Dona, 2023, №9. URL:  
[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670).

**Дата поступления: 10.01.2025**

**Дата публикации: 25.02.2025**