

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 691.316; 549.02

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-55-65>

Особенности составов и микроструктуры кладочных растворов башенных комплексов Ингушетии

В.Д. Котляр

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[✉ diatomit_kv@mail.ru](mailto:diatomit_kv@mail.ru)



EDN: YZMWOV

Аннотация

Введение. Башенные комплексы Республики Ингушетии являются не только уникальными историко-архитектурными памятниками, но памятниками «строительной» истории региона. Особый интерес у специалистов в последние годы проявляется к кладочным растворам, которые применялись для скрепления каменной кладки при возведении и ремонте башен. Изучение кладочных растворов может рассказать специалистам о применяемых материалах, древних строительных технологиях, а по микроструктурным признакам — о возрасте самих башен или их отдельных частей, что особенно актуально для специалистов в области строительного материаловедения, истории архитектуры, реставрации и реконструкции историко-архитектурного наследия. Целью данных исследований является определение составов кладочных растворов башенных комплексов Республики Ингушетии и их возраста по степени кристалличности вторичного кальцита.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись образцы кладочных растворов, отобранных из башенных комплексов «Эгикал», «Таргим», «Пуй», «Лейми», «Алби-Ерды», «Эрзи» и другие. Изучение химического состава растворов проводилось по методике ГОСТ 8269.1-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа». Рентгенофазовые исследования проводились на приборе ARL X'TRA с шириной щелей 2–4–1–0,5. Условия съемки на дифрактометре ARL X'TRA: интервал — 5–70 °; скорость: 5–6 град/мин; напряжение — 40 кВ; ток — 30 мА. Расшифровка дифрактограмм проводилась с использованием соответствующих методик путем сопоставления с подобными исследованиями, а также с использованием международных баз данных. Минералого-петрографические исследования проводились с помощью оптических и цифровых микроскопов различных модификаций.

Результаты исследования. Приводятся авторские результаты исследования, которые получены в описываемой работе. Проведённые исследования позволили установить, что составы древних кладочных растворов изначально в подавляющем большинстве случаев были представлены смесью воздушной извести и песчано-гравийного материала или смесью воздушной извести и измельчённых глинистых сланцев. Установлено, что степень кристалличности вторичного кальцита существенно отличается и зависит от возраста каменных кладок башен.

Обсуждение и заключение. Результаты, полученные в ходе проведения данных исследований, в практическом плане могут быть полезны при проведении реставрационных работ, в теоретическом плане позволяют определить относительный возраст башен и их отдельных частей, что существенно поможет при воссоздании истории их строительства.

Ключевые слова: башни, кладочный раствор, состав, известь, кальцит, степень кристалличности, возраст

Благодарности. Автор благодарит зав. кафедрой «Архитектурная реставрация, реконструкция и история архитектуры» ДГТУ, доктора архитектуры, профессора Пищулину Викторию Владимировну за материальную поддержку при проведении исследований, высказанные автору ценные замечания и рекомендации при написании статьи.

Для цитирования. Котляр В.Д. Особенности составов и микроструктуры кладочных растворов башенных комплексов Ингушетии. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2024;3(4):55–65. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-55-65>

Compositional and Microstructural Features of Masonry Mortars of Ingushetia Tower Complexes

Vladimir D. Kotlyar 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 diatomit_kv@mail.ru

Abstract

Introduction. The tower complexes of the Republic of Ingushetia are not only unique historical and architectural monuments, but also monuments to the history of “construction” of the region. In recent years, specialists are particularly interested in the masonry mortars used for bonding the stonework during building-up and repairing the towers. The study of the masonry mortars can provide the specialists the information about the materials used, ancient construction technologies, and, based on microstructural features, the age of the towers or their separate parts, which is especially relevant for the specialists in the field of materials science in construction, history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage. The aim of the research is to determine the composition of the masonry mortars in tower complexes of the Republic of Ingushetia and, based on the degree of crystallinity of secondary calcite, determine their age.

Materials and Methods. The objects of the research were the samples of masonry mortars taken from the tower complexes of Ehgikal, Targim, Pui, Leimi, Albi-Erdy, Ehrzi and others. The study of the chemical composition of the mortars was carried out according to the methodology of GOST 8269.1-97 “Crushed Stone and Gravel from Dense Rocks and Industrial Waste for Construction Work. Methods of Chemical Analysis”. X-ray diffraction phase analysis was carried out using the ARL X’TRA diffractometer with slit widths of 2-4-1-0.5. Measurement capacity provided by the ARL X’TRA diffractometer: angle range — 5–70°; speed: 5–6 deg/min; voltage — 40 kV; current — 30 mA. Diffractogram decoding was carried out in accordance with the appropriate methods by comparing with the similar studies, as well as with the use of international databases. Mineralogical and petrographic examinations were carried out using optical and digital microscopes of various modifications.

Results. The retrieved author’s research results are presented in the paper. The conducted research made it possible to establish that originally the overwhelming majority of ancient masonry mortars were represented by a mixture of air-setting lime and sand and gravel material or a mixture of air-setting lime and crushed clay slates. It was acknowledged that the degree of crystallinity of secondary calcite differs significantly and depends on the age of the tower stonework.

Discussion and Conclusion. The results obtained within this research can have practical value for carrying out the restoration works, and theoretical value for determining the relative age of the towers and their separate parts, which will significantly help to reconstruct the history of their construction.

Keywords: towers, masonry mortar, composition, lime, calcite, degree of crystallinity, age

Acknowledgements. The author thanks the head of DSTU Architectural Restoration, Reconstruction and History of Architecture Department, Dr.Sci. (Architecture), Professor, Victoria V. Pishchulina for financial support of the research, for valuable comments and recommendations made to the author while preparing the article.

For Citation: Kotlyar VD. Compositional and Microstructural Features of Masonry Mortars of Ingushetia Tower Complexes. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(4):55–65. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-55-65>

Введение. В последние годы повышенный интерес у историков, архитекторов, археологов и любителей культурно-познавательного туризма проявляется к башенным комплексам Республики Ингушетии. Это закономерно, так как Северный Кавказ является уникальным в своём роде регионом, а сохранившиеся древние башни Ингушетии — это живая «строительная» история Республики. Они стали символами региона, активно реставрируются, и, несмотря на очень малое количество письменных источников, по крупицам воссоздаётся история их строительства, и выявляется роль, которую они играли в прошлом в жизни народа (рис. 1).

Работы в данном направлении вызывают множество вопросов, основные из которых: из каких материалов и когда были построены древние башни. Первый вопрос является основным вообще для любого строительства, так как наличие тех или иных строительных материалов определяет, каким будет то или иное сооружение, технологию его возведения и архитектурную форму. Что касается строительства башен Ингушетии, то основным изделием для возведения стен, как и во многих других районах Кавказа, служили стеновые камни, полученные из плитчатых песчаников и известняков. Данные породы имеют широкое распространение в отложениях юрского и мелового периодов, протягивающихся широкой полосой от северо-западной до юго-восточной окраины Кавказа,

в том числе и в горных районах Ингушетии. Так как такие песчаники имеют слоистую текстуру, они легко раскалываются по плоскостям напластования на большие фрагменты, из которых уже раскалыванием перпендикулярно к плоскостям напластования получают нужные по размеру камни.



Рис. 1. *а* — отреставрированный архитектурный башенный комплекс «Бишт»; *б* — башенный комплекс «Герете» («Герате») не подвергавшийся перестройке и реставрации

Второй вопрос о возрасте строительства башен имеет, помимо чисто научного, большое историко-общественное значение и вызывает наибольшие дискуссии [1–3]. Применяемые в настоящее время методы датировки объектов культурного наследия как физико-химические, так и историко-архитектурные, не являются абсолютно точными и работают только комплексно. Кроме того, точная датировка тех или иных башен осложняется тем обстоятельством, что на протяжении своей истории они многократно перестраивались, и, так как получение стеновых камней процесс достаточно трудоёмкий, повсеместной практикой было повторное использование камней, на которые не ставили клейма, как на керамический кирпич. Учитывая особенности гидратации, твердения и последующих микроструктурных преобразований, происходящих в известковых растворах, которые применялись при строительстве башен, по степени кристалличности вторичного кальцита можно точно сказать, какой раствор имеет тот или иной относительный возраст. Это в комплексе с другими методами позволяет более точно определить возраст башен или их отдельных частей [4–7]. Работы в данном направлении начались только в последние 5 лет и имеют большой научный интерес. Определение же составов растворов с учётом геологических особенностей конкретного района и атрибуции конкретных башен является основой для проведения реставрации и реконструкции данных памятников историко-архитектурного наследия.

Материалы и методы. Для проведения исследований нами были отобраны образцы кладочных известковых растворов на различных башенных комплексах Ингушетии: «Эгикал», «Таргим», «Пуй», «Лейми», «Алби-Ерды», «Эрзи» и других. Всего было отобрано 56 образцов. На каждом объекте отбиралось по несколько образцов в минимально затронутых выветриванием точках (рис. 2).

При отборе образцов учитывались условия, которые могли бы повлиять на изменения первоначального состава раствора: возможность увлажнения, надземная или приземная часть сооружения, доступ воды из воздушной среды, освещённость и др. Указанные факторы в определённой степени могут влиять на скорость протекания химических реакций в растворе и соответственно на преобразование портландита в кальцит и последующий рост степени его структурного совершенства. При отборе проб были отдельно выделены образцы из башен с подтверждёнными по историческим данным датами постройки, и на которые ориентировались при сравнении и анализе полученных результатов [8–11]. Также были отобраны и изучены образцы карбонатных пород, находящихся в районе башен, из которых вероятнее всего получали известь для растворов, для определения степени структурного совершенства природного кальцита.



Рис. 2. Характерные точки отбора образцов

Изучение растворов происходило в 3 этапа. На первом этапе образцы изучались визуально и под оптическими микроскопами различных модификаций. На втором этапе изучался химический состав вяжущей составляющей растворов и заполнителей. Для этого, учитывая, что вяжущая составляющая имеет гораздо меньшую прочность, чем заполнители, образцы измельчались в фарфоровой ступке твёрдым резиновым пестиком, чтобы не разрушались зёрна заполнителя. После чего полученный материал просеивался на сите с размером ячеек 0,05 мм. Таким образом мы отделяли вяжущую составляющую растворов, представленную вторичным кальцитом, и заполнители. Последние подвергались минералого-петрографическому анализу с помощью методов оптической микроскопии. Определение химического состава вяжущей составляющей проводилось по методике НСАМ №138-Х «Определение породообразующих элементов в горных породах и рудах ускоренными фотометрическим и титриметрическими методами». Определение минерального состава вяжущей составляющей и степени кристалличности вторичного кальцита по интенсивности главного пика кальцита ($3,03 \text{ \AA}$) проводилось на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA с шириной щелей 2–4–1–0,5. Условия съёмки на дифрактометре ARL X'TRA: интервал — $5\text{--}70^\circ$; скорость — 5–6 град/мин; напряжение — 40 кВ; ток — 30 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась по соответствующим методикам с использованием международных баз данных и путём сопоставления с подобными исследованиями. Количественное определение минерального состава проводили методом корундовых чисел и путём петрохимических пересчётов.

Результаты исследования. Результаты исследований показали, что заполнителями в кладочных растворах башен Ингушетии являлись в основном аллювиальные грубо- и среднеобломочные отложения реки Асса, представленные дресвой, гравием, разнозернистыми песками. Это закономерно, так как измельчать крупные куски прочных пород для получения песка достаточно трудоёмко. Минералого-петрографический состав заполнителей достаточно разнообразен. Встречаются зёрна от мелкозернистого песка до гравия, представленные кварцем, различными известняками, песчаниками, алевролитами, доломитами, аргиллитами и глинистыми сланцами (рис. 3), т. е. теми породами, которые характерны для геологии Ингушетии. Какой-либо чёткой закономерности между расположением башен и видом заполнителя не выявлено. В общих чертах можно говорить, что в кладочных растворах наиболее южных башенных комплексов в большей мере встречаются доломиты и глинистые сланцы. В растворах северных башенных комплексов в большей мере встречаются кварц, известняки и алевролиты.

По аналогии со структурами осадочных пород тип цементации (соотношение вяжущего вещества и заполнителей) можно назвать базальным или базально-поровым. В редких случаях — контактовым. Примерное соотношение по массе вяжущего вещества и заполнителя в среднем составляет 20/80. При этом надо иметь в виду, что плотность вяжущего вещества ($2,1\text{--}2,3 \text{ г/см}^3$) — первоначально известки, которая со временем карбонизировалась и перешла в кальцит, — существенно меньше плотности заполнителя ($2,6\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$).

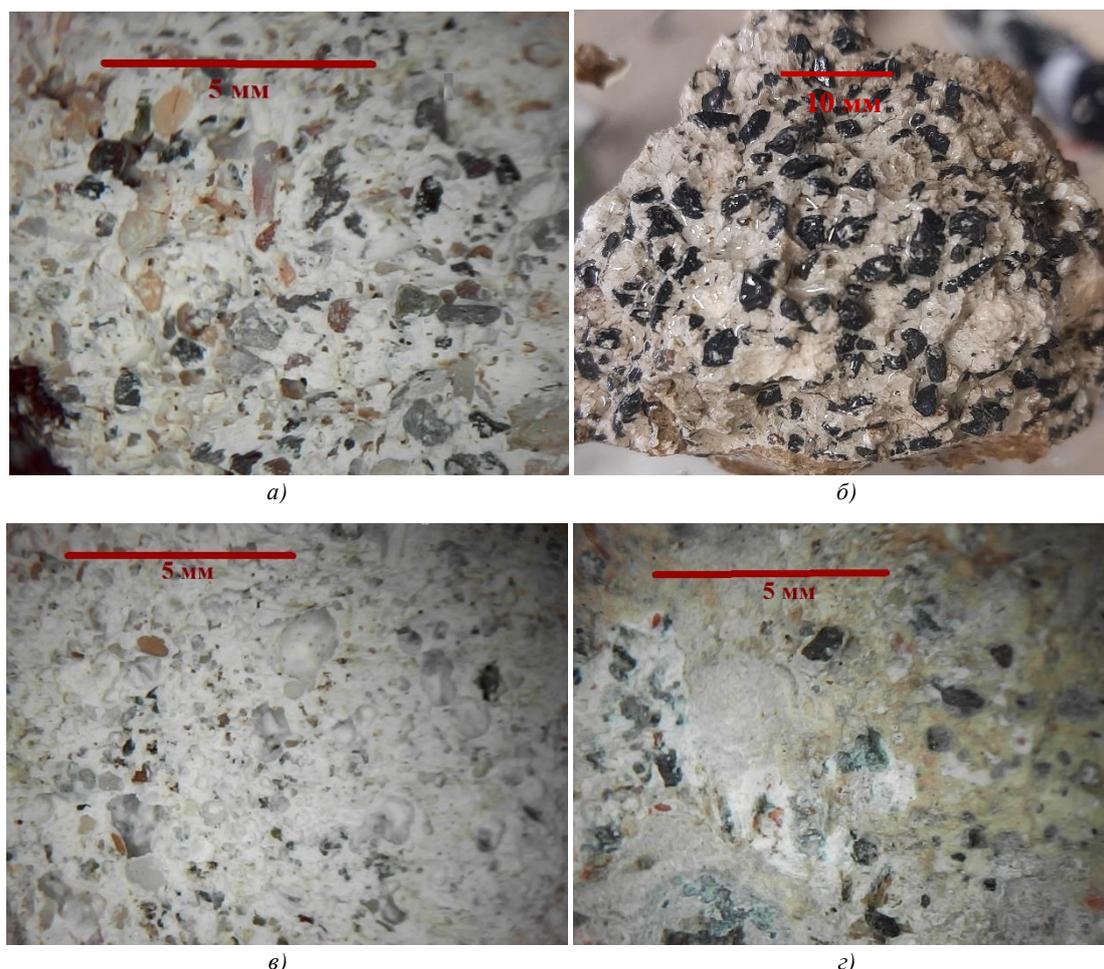
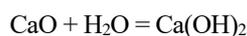


Рис. 3. Различные виды заполнителей в кладочных растворах: *а* — преимущественно кварцевый песок; *б* — глинистый сланец; *в* — преимущественно доломитизированный известняк; *з* — алевролиты и песчаники

Особый интерес при изучении кладочных растворов вызывает именно вяжущая часть. Исследования подтвердили, что в подавляющем большинстве случаев вяжущая часть кладочных растворов башен представлена вторичным кальцитом, образованным за счёт карбонизации извести. Как известно, процесс схватывания и набора прочности известковых растворов проходит в два основных этапа. Первый этап характеризуется гидратацией оксида кальция с образованием микрокристаллов минерала портландита (гидроксида кальция) по реакции:



с дальнейшим увеличением размеров кристалликов и их срастанием между собой. Второй этап характеризуется карбонизацией гидроксида кальция за счёт его реакции с парами воды и углекислым газом, которые всегда присутствуют в атмосфере:



Скорость процесса карбонизации зависит от многих условий. На этот процесс влияют температура и влажность окружающей среды, содержание углекислого газа в атмосфере, плотность раствора, от чего зависит доступ углекислого газа вглубь кладки и другие факторы. В любом случае для башенных комплексов Ингушетии эти условия были практически одинаковы. Исследования показали, что в известковых растворах возрастом более 100 лет нет гидроксида кальция, и он полностью перешёл в кальцит. Также установлено, что в подавляющем большинстве случаев для получения извести для растворов использовались «чистые» известняки. В более редких случаях — мергелистые известняки и доломитизированные известняки. Первые выходят на поверхность в северных предгорных районах республики — это эоцен-палеоценовые отложения палеогена. Вторые (в южной части республики) — это отложения верхнего мела. Наиболее чистыми и наиболее пригодными для получения извести в Республике Ингушетия являются известняки верхнего мела ичкерийской свиты. Мощность их отложений достигает 160 метров. Есть предположение, что именно известняки ичкерийской свиты в большинстве случаев использовались при строительстве башен для получения извести. Их крупные выходы наблюдаются южнее селения Алкун около реки Асса и около дороги, которая идёт вдоль реки, что позволяло организовывать их доставку как на юг, так и на север (рис. 4).



Рис. 4. Выходы известняков ичкерийской свиты верхнего мела по левому берегу реки Асса

Минеральный состав известняков, представленный в основном кальцитом, и химический состав подходит для получения извести (таблица 1, рис. 5). При естественном разрушении (выветривании) Алкунские известняки распадаются на небольшие куски, что благоприятствовало их разработке и последующему получению извести. В настоящее время разведано крупное проявление известняков верхнего мела ичкерийской свиты — Алкунское месторождение. Порода данного месторождения периодически разрабатывается для дорожного строительства, получения щебня, производства кирпича компрессионного формования.

Таблица 1

Усреднённый химический состав известняков Алкунского месторождения

ппп	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
41,37	4,31	0,47	0,68	51,98	0,44	0,03	0,20	0,01	0,02

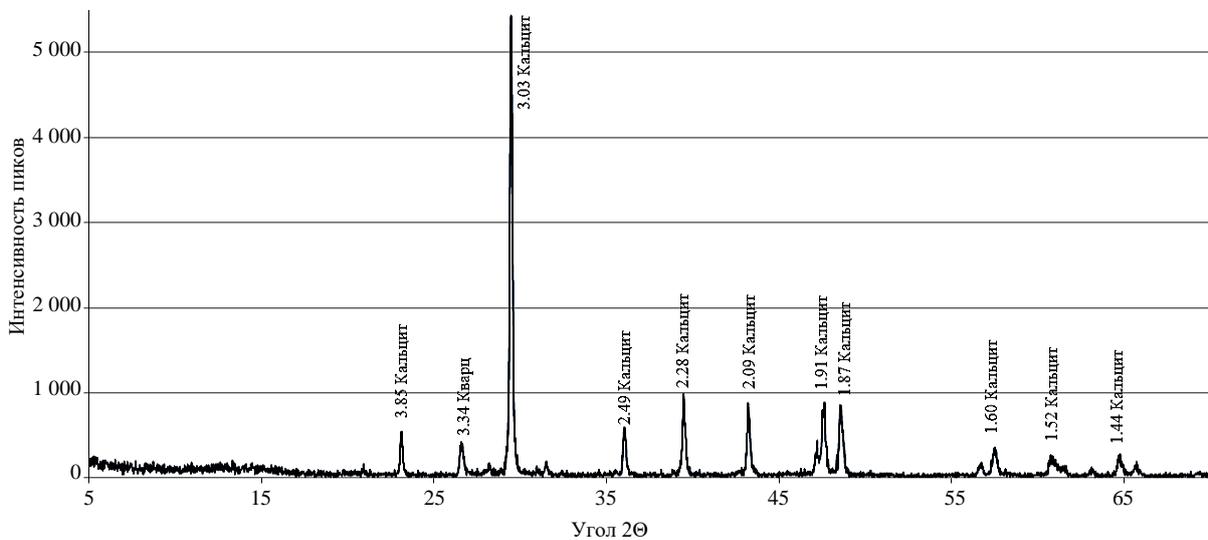


Рис. 5. Рентгенограмма известняков Алкунского месторождения

После карбонизации извести (минерал портландит) и перехода её в минерал кальцит наступает самый длительный этап микроструктурных преобразований известкового раствора — рекристаллизация микрокальцита, образованного за счёт карбонизации портландита, и рост степени его структурного совершенства, сопровождающийся увеличением размеров нано- и микрокристаллов кальцита и ростом степени структурной упорядоченности кристаллической решетки. Наиболее высокой степенью структурного совершенства отличается кальцит, слагающий мрамор, в меньшей степени — кальцит известняков, особенно мелоподобных, и относительно небольшой степенью структурного совершенства отличается вторичный кальцит известковых растворов. И если процесс карбонизации известковых растворов достаточно хорошо изучен, то процесс роста структурного совершенства вторичного кальцита в известковых растворах находится в стадии изучения [12–16]. Последний интересен тем, что он может говорить о возрасте известковых растворов и, соответственно, башен или их отдельных частей: чем выше степень структурного совершенства вторичного кальцита, тем больше возраст известкового раствора. Степень структурного совершенства (рекристаллизации) можно определить рентгенодифракционным методом с

учётом определённых допусков: чем выше главный рефлекс кальцита ($3,03 \text{ \AA}$) на рентгенограмме, тем больше относительный возраст раствора.

Многочисленные исследования вяжущей части известковых растворов показали, что главный рефлекс кальцита при абсолютно одинаковых условиях съёмки и подготовки проб для различных башенных комплексов и для отдельных частей имеет различную интенсивность. Для примера, на рис. 6 и 7 приведены рентгенограммы кладочных растворов, отобранных на башенном комплексе «Таргим» и на руинированном раннеправославном христианском храме «Альби-Ерды». Как видно, главный рефлекс кальцита ($3,03 \text{ \AA}$) на образцах, отобранных на различных объектах и на отдельных участках одного и того же объекта, имеет различную интенсивность, т. е. вторичный кальцит имеет более высокую или меньшую степень структурного совершенства, и, соответственно, кладочный раствор с учётом определённых допусков имеет различный возраст.

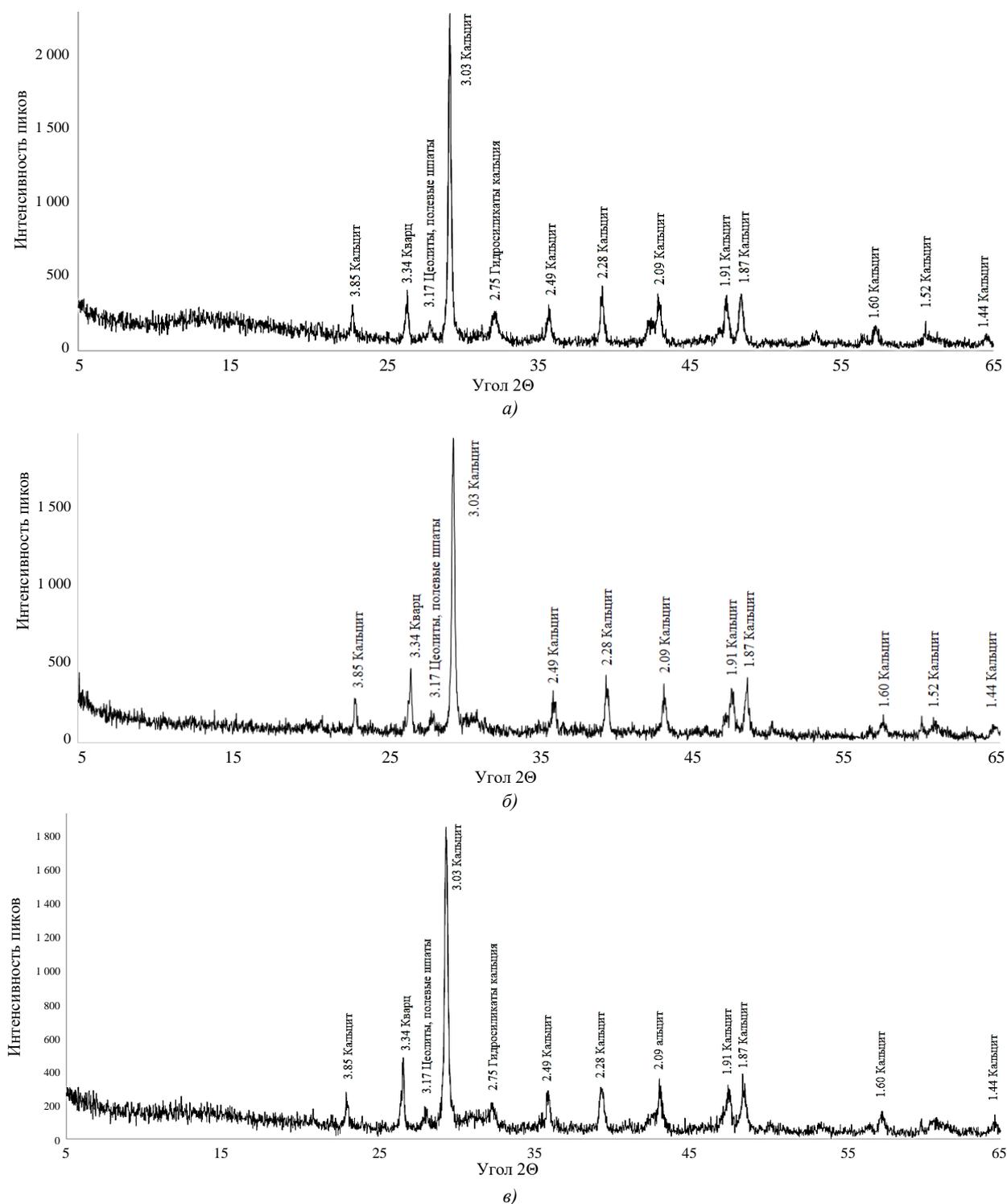


Рис. 6. Рентгенограммы вяжущей части кладочных растворов, отобранных на башенном комплексе «Таргим»: а — башня Плиевых; б — башня старая; в — святилище

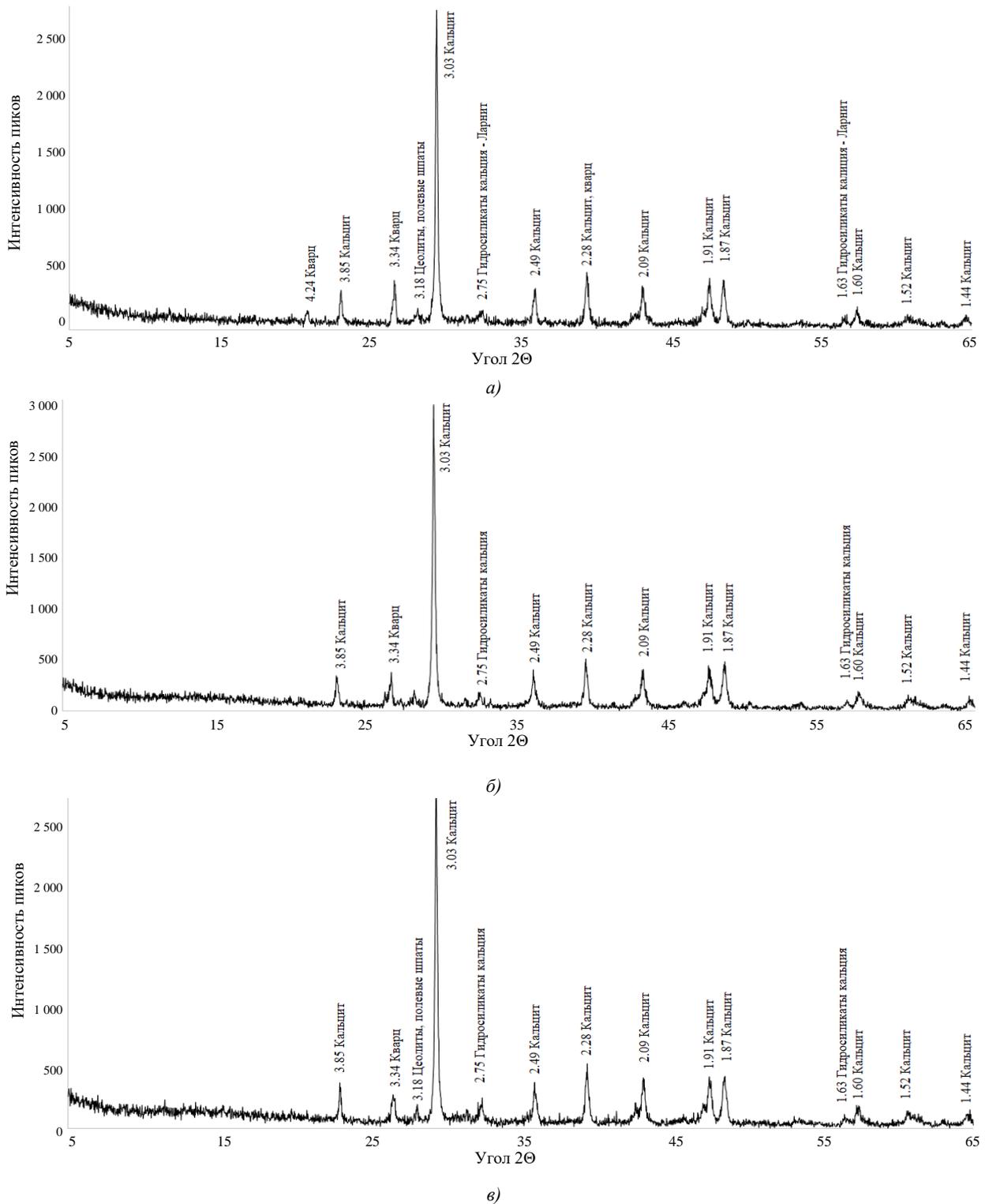


Рис. 7. Рентгенограммы вяжущей части кладочных растворов, отобранных на раннеправославном христианском храме «Альби-Ерды»: а — восточный фасад; б — верхняя часть стены; в — левая апсида

Сопоставляя полученные нами данные по образцам-эталонам, т. е. образцам, отобранным на объектах, с подтверждёнными историческими данными времени их строительства, мы получили высокий процент ($\approx 85\%$) схожести результатов [9–11]. При съёмке образцов с одинаковыми параметрами и равном содержании минералов прослеживается чёткая закономерность: чем выше главный рефлекс кальцита (3,03 Å) на рентгенограмме, т. е. выше степень его структурного совершенства, тем больше относительный возраст раствора. К примеру, возраст объектов башенного комплекса «Таргим» относится к XIII–XVI веку. Возраст объектов башенного комплекса «Лейми» относится к XV–XVI веку. Возраст раннеправославного христианского храма «Альби-Ерды» относится к VIII–XII веку. Представленные нами датировки башенных комплексов нельзя принимать буквально, так как проблемой при отборе и изучении образцов кладочных растворов древних объектов архитектурного наследия

для уточнения времени их строительства является то, что в подавляющем большинстве случаев они неоднократно перестраивались, и в каждом случае применялся новый раствор. С другой стороны, изучение кладочных растворов на одном и том же объекте позволяет воссоздать его историю, так как стеновые камни неоднократно использовались при ремонтах и перестройках объектов башенных комплексов, в отличие от кладочных растворов, которые каждый раз надо готовить по-новому.

При наблюдении под электронным микроскопом при увеличении в 1000–5000 раз видно, что вторичный кальцит, образованный за счёт карбонизации гидроксида кальция, представляет собой в основном коллоидные микрозернистые образования размером до 5 мкм (рис. 8). При этом самих нанокристаллитов вторичного кальцита не наблюдается за счёт их очень малых размеров.

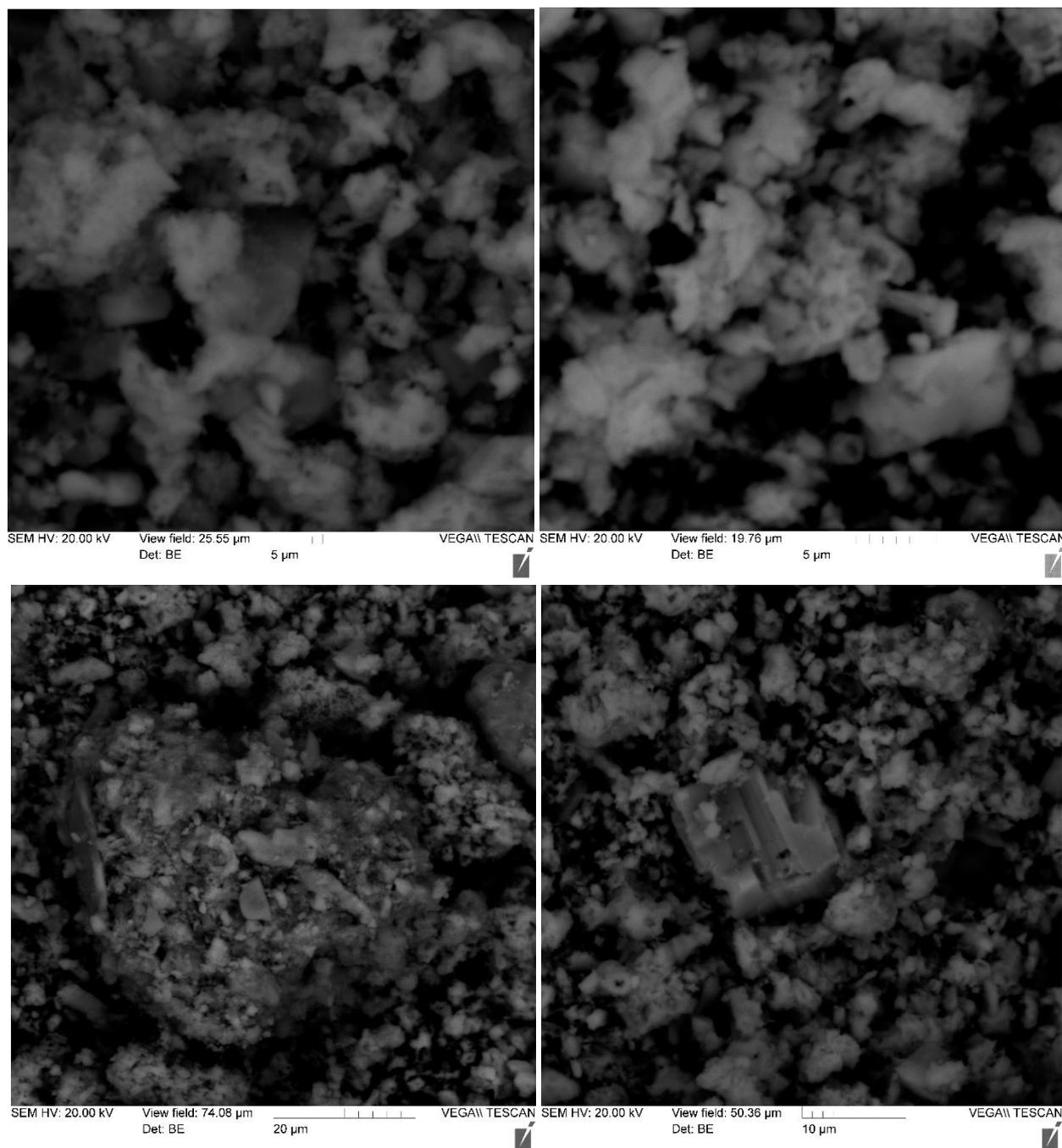


Рис. 8. Микрообразования вторичного кальцита в известковых растворах башенных комплексов Ингушетии

Определять степень кристалличности кальцита и, соответственно, относительный возраст кладочных растворов с учётом определённых факторов можно не только по высоте главного рефлекса (в области угла $2\Theta \sim 29,4 \text{ \AA}$), но и по индексу кристалличности — это ширина пика на половине высоты (FWHM) или интегральная ширина главного пика, то есть отношение площади к высоте пика над фоном.

Обсуждение и заключение. Проведённые нами исследования позволили установить определённую закономерность: чем выше степень рекристаллизации вторичного кальцита, образованного из порландита, тем больше возраст каменной кладки, что подтверждается по объектам с подтверждённой датировкой по архитектуроведческим и археологическим данным. Сделанные нами сопоставления совместно со специалистами по истории архитектуры показали, что для большей части объектов ($\approx 80\text{--}85\%$) относительный возраст, определённый по нашим данным, коррелируется с историческим возрастом объектов башенных комплексов, установленном на основе анализа архитектурно-исторических и археологических данных. Для некоторых объектов такой корреляции не наблюдается. В основном это объекты, дата постройки которых не установлена или является спорной.

Исследования известковых кладочных растворов древних сооружений предлагаемым методом позволяют в некоторых случаях уточнить, а в некоторых случаях установить и подтвердить возраст древних башенных комплексов Ингушетии и их отдельных частей. Учитывая сложность и многофакторность задач по определению возраста объектов башенных комплексов Ингушетии, для разработки методики определения возраста известковых растворов по рекристаллизации вторичного кальцита требуется накопление большого количества фактических данных, создание базы эталонных образцов и скоординированная работа со специалистами по истории архитектуры и археологии. Работы, связанные с датировкой древних построек, являются достаточно трудоёмкими, а их результаты требуют тщательного анализа, поэтому могут проводиться длительное время. Изучение степени рекристаллизации кальцита известковых растворов может стать хорошим дополнением к уже имеющимся методам определения возраста памятников архитектурного наследия.

Список литературы / References

1. Крупнов Е.И. *Средневековая Ингушетия*, 2-е изд. Магас: Сердало; 2008. 256 с.
Krupnov EI. *Medieval Ingushetia*, 2nd Ed. Magas: Serdalo; 2008. 256 p. (In Russ.)
2. Шеина С.Г., Батаев Д.К., Малороев М.М., Батаева П.Д. Материалы и технологии для восстановления объектов башенного типа. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2022;49(3):146–151. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-3-146-151>
Sheina SG, Bataev DK, Maloroev MM, Bataeva PD. Materials and Technologies for the Restoration of Tower-Type Objects. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2022;49(3):146–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-3-146-151>
3. Сампиев И.М. К проблеме классификации боевых башен Ингушетии. *История, археология и этнография Кавказа*. 2023;19(1):221–240. <https://doi.org/10.32653/CH191221-240>
Sampiev IM. On the Issue of Classification of Military Towers of Ingushetia. *History, Archeology and Ethnography of the Caucasus*. 2023;19(1):221–240. <https://doi.org/10.32653/CH191221-240> (In Russ.)
4. Пищулина В.В. Варианты «народного» храмообразования на территории Ингушетии как проявление религиозных контаминаций в архитектурном формообразовании храмов. *Инженерный вестник Дона*. 2022;7(91):348–364. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7796> (дата обращения: 01.08.2024).
Pishchulina VV. Variants of "Folk" Temple Construction on the Territory of Ingushetia as a Manifestation of Religious Contaminations in the Architectural Form-Formation of Temples. *Engineering Journal of Don*. 2022;7(91):348–364. (In Russ.) URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7796> (accessed: 01.08.2024).
5. Pishchulina V, Kotlyar V, Argun A. Integrated Cross-Disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018). Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Volume 284*. Atlantis Press, Part of Springer Nature; 2018. P. 613–617. <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>
6. Котляр В.Д., Пищулина В.В., Попов Ю.В., Талпа Б.В. Микроструктурные изменения в известковых растворах древних кирпичных кладок. *Строительные материалы*. 2021;(4):47–53. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-47-53>
Kotlyar VD, Pishchulina VV, Popov YuV, Talpa BV. Microstructural Changes in Lime Mortars of Ancient Brick Masonries. *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials)*. 2021;(4):47–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-47-53>
7. Batt C. Archaeomagnetic Dating. In book: *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Rink W, Thompson J (Eds.). Dordrecht: Springer; 2013. P. 1–9. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6326-5_11-1
8. Kotlyar VD. The Calcite Crystallinity and the Age of Limestone Brick Mortars of Medieval Objects of the North of the Byzantine Oecumene. In: *Proceedings of the Materials Science Forum, Vol. 974*. Trans Tech Publications; 2019. P. 83–89.

9. Пищулина В.В., Котляр В.Д. Новые данные о хронологии средневековых архитектурных объектов северных провинций Византийской Ойкумены. *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году*. 2020;72–81.

Pishchulina VV, Kotlyar VD. New Data on the Chronology of Medieval Architectural Objects of the Northern Provinces of the Byzantine Oycumena. In: *Collection of Scientific Papers of the RAACS "Fundamental, Exploratory and Applied Research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on Scientific Support for the Development of Architecture, Urban Planning and the Construction Industry of the Russian Federation in 2019"*. Vol.1. Moscow: ASV Publ.; 2020. P. 72–81. (In Russ.)

10. Pishchulina V, Kotlyar V, Argun A. The medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). *Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019;91:02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>

11. Pishchulina V, Kotlyar V, Argun A. Integrated Cross-Disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018)*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Volume 284. Atlantis Press, Part of Springer Nature; 2018. P. 613–617. <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>

12. Lyubomirskiy N, Bakhtin A, Fic S, Szafraniec M, Bakhtina T. Intensive Ways of Producing Carbonate Curing Building Materials Based on Lime Secondary Raw Materials. *Materials*. 2020;13(10):2304. <https://doi.org/10.3390/ma13102304>

13. Nikolaenko V, Lyubomirskiy N., Bakhtina T. The Effect of Forced Carbonation on the Change in the Structure of Lime-Containing Systems over Time. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;753:032078. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/3/032078>

14. Lyubomirskiy N.V., Bakhtina T.A., Bakhtin A.S., Fedorkin S.I. The Carbonate-Hardening Lime Construction Material Properties Formation during Their Long-Term Storage and Use under Normal Conditions. In: *Proceedings of the Materials Science Forum, Vol. 974*. Trans Tech Publications; 2019. P. 187–194. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.187>

15. Kotlyar V, Pishchulina V, Beskopylny A, Meskhi B, Popov Yu, Efremenko I. Estimation of the Age of Architectural Heritage Objects by Microstructural Changes of Calcite in Lime Mortars of Ancient Brickwork and Masonry. *Buildings*. 2021;11(6):240. <https://doi.org/10.3390/buildings11060240>

16. Falkenberg J, Mutterlose J, Kaplan U. Calcareous Nannofossils in Medieval Mortar and Mortar-Based Materials — A Powerful Tool for Provenance Analysis. *Archaeometry*. 2021;63(1):19–39. <https://doi.org/10.1111/arcm.12626>

Об авторе:

Владимир Дмитриевич Котляр, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), , [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), diatomit_kvd@mail.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи

About the Author:

Vladimir D. Kotlyar, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Building Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), diatomit_kvd@mail.ru

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию/ Received 12.11.2024

Поступила после рецензирования/ Revised 26.11.2024

Принята к публикации/ Accepted 05.12.2024