

П. М. Жук, Э. Б. Хосиев
P. M. Zhuk, E. B. Hosiev

Изучение применения известкового и вулканического туфа в архитектуре *Study of the use of calcareous and volcanic tuff in architecture*

Ключевые слова: известковый туф, вулканический туф, природные каменные материалы
Keywords: calcareous tuff, volcanic tuff, natural stone materials

Аннотация. В настоящее время происходит переосмысление применения природного камня в архитектуре. В этом процессе существенную роль играет учет месторождений, химический и минералогический состав, современные технологии обработки. В частности, породами с растущим масштабом использования являются травертин и вулканический туф. Это делает необходимым проведение исследований эксплуатационных характеристик этих материалов в современных условиях и предложение актуальных рекомендаций по применению таких горных пород в архитектуре.

Abstract. Currently, the process of rethinking of the use of natural stone in architecture is taking place. In this process, a significant role is played by the accounting of deposits, chemical and mineralogical composition, and modern processing technologies. In particular, rocks with increasing use are travertine and volcanic tuff. This makes it necessary to conduct research into the performance characteristics of these materials in modern conditions and to offer up-to-date recommendations for the use of such rocks in architecture.

Ключевыми моментами в научном обосновании применения материалов из известкового и вулканического туфа в современной архитектуре, а также для задач реставрации исторических объектов является изучение номенклатуры изделий, способов обработки и защиты природного камня [1, 6]. Существенную роль играет натурное исследование долговечности материалов из известкового туфа (травертина) и вулканического туфа в условиях агрессивной среды мегаполисов средней полосы Европейской части России [4, 5, 8].

Одним из новых, но при этом важных свойств, которые характеризуют комфортность условий среды как в помещениях, так и в общественных пространствах городской среды, а также на объектах ландшафтной архитектуры, являются показатели температуры поверхности и коэффициента альбедо. В статье представлены результаты исследований для различных материалов из природного камня и разработаны рекомендации по их применению в конкретных условиях.

Цель исследования заключается в рассмотрении и изучении визуального решения фасадов по использованию известкового и вулканического туфа как отделочного материала, что предполагает оценку и отбор наиболее важных свойств материала при его работе в городской среде. Предметом исследования являются архитектурные памятники Москвы. Наиболее актуальной и важной задачей в настоящее время можно считать обобщение и систематизацию имеющихся сведений по применению основных видов туфа на основе сохранившихся памятников, выявление характерных архитектурных особенностей данной классификации.

Туф – это уникальная горная порода, обладающая способностью сохранять свои свойства при воздействии негативных факторов внешней среды. Данная порода, обладая всеми свойствами природного камня, также отличается такими характеристиками, как относительно небольшая средняя плотность, пористая структура, высокие декоративные свойства, легкость в обработке и относительно продолжительный срок службы. В зависимости от химического состава и гео-

логического способа образования туф делят на вулканический и известковый. Применение туфа в архитектуре началось еще с древних времен. Однако широко использоваться в строительстве туф начал в первой половине XIX века. Изделия из туфа (камни, блоки, плиты) применялись в качестве конструктивных элементов, отделочного материала, несущих конструкций. Эта ситуация неизбежно нашла отражение в разработке новых и совершенствовании существующих отделочных материалов из туфа.

В современных условиях технико-экономические факторы по-прежнему являются базой дальнейшего роста эффективности производства строительных материалов. Вулканический туф и травертин завоевали значительную часть рынка благодаря высокому качеству и благоприятным экологическим показателям по жизненному циклу. В настоящее время как известковый туф, так и вулканический находят свое применение в архитектуре для различных функциональных назначений, начиная от облицовки фасадов и заканчивая декоративно-художественными элементами (карнизы, столбы, пилястры, балясины, перила и т. д.). Этот материал отличается разнообразием изделий, форм, области применения, цветовых решений и устойчивости к различным природным и эксплуатационным воздействиям. Вулканический туф и травертин широко применяются в качестве стенового материала, для изготовления художественных изделий, архитектурных элементов, для производства красок, в качестве наполнителя. Благодаря пористой структуре и разнообразию расцветок, туф применяется для изготовления декоративных элементов (каминов, предметов для дома и др.).

Этот нестандартный по структуре и свойствам камень часто встречается в виде небольших по объемам отложений и залежей в районах, где преобладают мощные толщи карбонатных пород, в местах расположения геотермальных источников (гейзеров), в местах вулканической активности. Все известные месторождения вулканического туфа и травертина находятся: в России (на Камчатке, в Пятигорске, Кабардино-Балкарии: с об-



Рис. 1. Облицовка плитами из вулканического туфа здания корпуса «К» Университета науки и технологий МИСиС. Масштабная реконструкция по проекту В. Ф. Кринского, А. М. Рухлядева, 1932 г.



Рис. 2. Облицовка бежевым известковым туфом фасада здания отеля «Националь». Арх. А. Иванов, 1902 г.



Рис. 3. Декоративные элементы из известкового туфа на фасаде отеля «Националь»



Рис. 4. Облицовка вулканическим туфом фасада здания Центросоюза. Арх. Ле Корбюзье и Н. Колли, 1933 г.

щими запасами более 420 млн м³); Армении (Артикское месторождение: с общими запасами более 250 млн м³); Турции (Каппадокия); Италии (Неаполь) и др.

Одним из важнейших показателей качества материалов является их долговечность. Это напрямую касается известкового и вулканического туфа, твердость которых обычно находится в среднем диапазоне (средний диапазон от 3 до 5 баллов по шкале Мооса). Для комплексной оценки применения травертина в архитектуре рекомендуется использовать обширную систему показателей, которая позволит более плотно и всесторонне раскрыть уровень эффективности производства и применения строительных материалов, их качество, минералогический состав и т. д. Знание указанных показателей уже дает определенную гарантию, что применение в архитектуре поможет сформировать целостную картину жизненного цикла материала от добычи до возможной переработки, что в свою очередь способствует достижению задач, поставленных Стратегией развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года (утвержденной распоряжением Пра-

вительства Российской Федерации от 31 октября 2022 г. № 3268-р).

Вулканический туф – перспективный материал для использования в современном строительстве. Вулканические туфы обладают высокой пористостью, низкой теплопроводностью, достаточной долговечностью, легко обрабатываются, декоративны. Однако несмотря на эти преимущества, в тех или иных случаях будут необходимы решения по улучшению теплозащиты, которые в свою очередь требуют затрат, что необходимо учитывать и взвешивать при анализе конкретных решений.

Вулканический туф считается наиболее перспективным материалом для строительной отрасли, что определяется как химическим, так и минералогическим составом породы. На протяжении многих лет ведутся успешные исследования по применению вулканического туфа в качестве активной минеральной добавки для вяжущих веществ [2, 7].

Продолжение анализа туфа путем оценки его преимуществ по обеспечению энергоэффективности и устойчивости функционирования строительного объекта определенного назначения в конкретных условиях яв-

Таблица 1.

Результаты измерений показателей температуры и альbedo для материалов фасадов рассматриваемых объектов

Наименование объекта/ материал фасада	Ориентация фасадов	Температура окружающей среды/ относительная влажность	Температура материала фасада/ коэффициент теплового излучения	Коэффициент альbedo
Здание корпуса «К» Университета науки и технологий МИСИС/ вулканический туф	Здание имеет северо-восточную ориентацию по сторонам света	-7°c / 74%	-11.1°c / 0.88-0.93	0,29
		-5°c / 68%	-9.9°c / 0.88-0.93	0,28
		3°c / 49%	10.8°c / 0.88-0.93	0,27
		5°c / 52%	11.3°c / 0.88-0.93	0,28
Здание отеля «Националь»/ известковый туф	Здание имеет северо- западную ориентацию по сторонам света	-7°c / 71%	-6.6°c / 0.91	0,32
		-5°c / 61%	-6.1°c / 0.91	0,35
		3°c / 48%	10.1°c / 0.91	0,36
		5°c / 50%	10.5°c / 0.91	0,34
Здание Центросоюза/ вулканический туф	Здание имеет северо-восточную ориентацию по сторонам света	-7°c / 74%	-5.3°c / 0.88-0.93	0,26
		-5°c / 59%	-4.5°c / 0.88-0.93	0,27
		3°c / 58%	7.1°c / 0.88-0.93	0,26
		5°c / 53%	8.2°c / 0.88-0.93	0,27

ляется серьезным шагом в области переосмысления применения природного камня в архитектуре на этапе проектирования.

В ходе исследования рассмотрены 3 примера использования туфа в архитектуре.

Здание корпуса «К» Университета науки и технологий МИСИС (масштабная реконструкция 1932 г. по проекту В. Ф. Кринского, А. М. Рухлядева) подчеркивает красоту местного сурового ландшафта. В ходе реконструкции фасад был облицован розовым вулканическим туфом (рис. 1).

В процессе строительства камень был измельчен и добавлен в состав бетонной смеси для пола. Также туф был использован для строительства колонн и столбов в здании. Несмотря на современные архитектурные приемы, в сооружении есть нотки древности, присущие самому камню. Объективные представления о восприятии физической сущности материала – «правда материала», логика, структурность, теплота, надежность [1]. «Правда материала» как составляющая его «художественного языка» – понятие, которое, по мнению профессора В. Е. Байера, исчезло из современного языка профессионального архитектора [1]. В то же время это понятие позволяет передавать на этапе восприятия зданий их «духовность», ощущение соблюдения национальных традиций и специфику жизни города. Во всех рассмотренных объектах отмечается необычайная пластичность каменной кладки, которая предопределяет универсальность ее использования. В этом контексте профессор В. Е. Байер отмечает, что «потенциал материала в архитектуре определяется формообразующими, пластическими, композиционными возможностями, его художественным языком, но при достижении конструктивной, функциональной, технологической и экономической эффективности» [1].

Вторым рассмотренным объектом стал отель «Националь» (арх. А. Иванов, 1902 г.). Здание в стиле модерн украшено примечательным майоликовым панно на угловом аттике, которое облицовано бежевым известковым туфом (рис. 2).

Мягкость туфа также позволяет выполнять сложную резьбу, что делает его подходящим для орнаментов, скульптур и рельефов. Туф использовался для украшения внутреннего интерьера. Многообразие расцветок камня облегчило реализацию дизайнерских замыслов. Материал широко использовался во время строительства здания в качестве конструкционного материала в несущих конструкциях, таких как кладка стен, оконные балки, кладка на вертикальных изломах стен, небольшие колонны, плитки, а также базы колонн; в качестве формообразующего (барельефы, горельефы, резные элементы архитектурного и скульптурного декора). До реконструкции подвальные помещения здания были облицованы туфом, так как этот камень сохраняет температуру в подвалах 15-16 градусов круглый год. Объективные представления о восприятии физической сущности материала – «отпечаток истории», многозначность, монументальность, тяжесть, несовершенство (рис. 3).

Третьим объектом рассмотрения стало административное здание Центросоюза (арх. Ле Корбюзье и Н. Колли, 1933 г.), которое было возведено на улице Мясницкой, 39, с чередованием стеклянных поверхностей и поверхностей, облицованных красным и розовым туфом (рис. 4).

Эти формы были построены с использованием эффективной с экономической и экологической точек зрения технологии. Прочность стекла в сочетании с его структурой создают ощущение надежности при воздействии климатических факторов. В 1930 году, во время

Таблица 2.

Характеристика состояния материалов фасада исследованных объектов

Наименование объекта	Характеристика состояния материалов	Фотофиксация состояния материалов
Здание корпуса «К» Университета науки и технологий МИСИС/ вулканический туф	Загрязнение фасадов по бокам проемов, возникшие в процессе эксплуатации в интенсивной городской среде. Участки фасадов со следами загрязнений и эрозии камня	
Здание отеля «Националь»/ известковый туф	Разрушение известкового туфа и последующей облагораживающей штукатурки на фасаде Отеля «Националь», со следами реставрационных работ	
Здание Центросоюза/ вулканический туф	Участок фасада, подвергнувшийся внешним антропогенным воздействиям, с заменой выпавших плит и деградация верхней части облицовки фасада.	

начала строительства, возникли задержки из-за нехватки материалов, вызванные первым пятилетним планом развития народного хозяйства СССР. Здание, в итоге, было построено из железобетона, изоляцией от шума служат блоки из красного туфа с Кавказа, толщиной 41 см. Объективные представления о восприятии физической сущности материала фасада здания Центросоюза – историчность, тишина, безмолвие, монументальность.

Важным с точки зрения оценки микроклимата города является такой показатель, как альbedo, который представляет собой свойство поверхности, в том числе облицованной фасадными материалами, поглощать или отражать солнечную радиацию [3]. Этот показатель представляет собой безразмерную величину. В таблице 1 приведены исследования температуры материалов фасада и альbedo рассматриваемых объектов в разных условиях.

Важным фактором при исследовании облицовочных материалов фасадов явилась ориентация здания по сторонам света, что играет роль как с точки зрения формирования микроклимата в городской среде, так и с позиций интенсификации влагообмена при увлажнении элементов фасада. Это явилось поводом для исследования параметров облицовочных плит при солнечном излучении. По данным источников известно, что природные каменные материалы дают показатели коротковолнового альbedo около 0,3 (30 %) [9]. Однако интересно рассмотрение конкретных пород и поиск отличий в этих показателях. В частности, при сравнении альbedo известкового и вулканического туфа стоит отметить, что известковая порода на исследуемых

объектах показывала данные от 0,32 до 0,36; а вулканический туф – от 0,26 до 0,29. В значительной степени это определяется, как правило, более светлой окраской известкового туфа, но есть и иные факторы, связанные с текстурой и другими характеристиками поверхности материала фасада. В целом средневзвешенный коэффициент отражения фасадов вносит значительный вклад в показатель альbedo застроенных территорий [3].

Помимо измерения показателей отражающей способности материалов фасада, важной составляющей исследования является характеристика состояния фасадных материалов. Результаты этих исследований представлены в таблице 2.

Исследование показывает, что состояние объектов с использованием вулканического туфа лучше, чем известкового, поскольку травертин имеет в составе карбонаты, что сказывается на его постепенном разрушении в кислой среде города. На всех объектах наблюдается фрагментарное увлажнение, постоянный контакт материала с пылью и влажным атмосферным воздухом, что приводит к разрушению как вулканического, так и известкового туфа. При измерении параметров увлажнения, а также коэффициента альbedo принципиальную роль играет архитектурная среда, в которой расположено здание. В частности, затененность иными зданиями и растительностью сказывается как на альbedo, так и на характере поверхностных повреждений материалов фасада.

В качестве основных выводов по результатам исследования вулканического и известкового туфа на фасадах зданий в Москве стоит отметить уместность рассмотрения коэффициента альbedo в качестве характеристики

при оценке качества фасадных решений в городской среде, а также рекомендовать учитывать особенности среды при выборе отделочного материала. В случае выбора материалов из вулканического туфа, важно обеспечивать отсутствие излишнего увлажнения элементов фасада и их регулярное проветривание.

Список литературы

1. Байер, В. Е. Архитектурный потенциал материала / В. Е. Байер // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании: материалы международной научно-методической конференции 21-22 сентября 2016 г., Новосибирск. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А. Д. Крячкова, 2019. – С. 28-30.
2. Вулканический туф как активная минеральная добавка для портландцемента / И. В. Бессонов, А. Д. Жуков, П. М. Жук и др. // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 25-29.
3. Город, архитектура, человек и климат / М. С. Мягков, Ю. Д. Губернский, Л. И. Конова, В. К. Лицкевич; под ред. М. С. Мягкова. – Москва : Архитектура-С, 2007.
4. Кавер, Н. С. Современные материалы для отделки фасадов: учебное пособие / Н. С. Кавер. – Москва : Архитектура-С, 2005.
5. Казарян, Ж. А. Пример обследования комплекса зданий в историческом центре Москвы с рекомендациями по реставрации известняковых фасадов и перспективами применения в крупных проектах / Ж. А. Казарян // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов; отв. ред. Г. Д. Першин. – Вып. 17. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 209-225.
6. Казарян, Ж. А. Природный камень в строительстве: обработка, дизайн, облицовочные работы: справочник / Ж. А. Казарян. – Москва : Петракомплект, 2021.
7. Комарова, Е. М. Применение вулканического туфа для наружных отделочных работ / Е. М. Комарова // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции 02 апреля 2021 г., г. Таганрог. – Уфа: OMEGA SCIENCE, 2021. – С. 268-271.
8. Королева, Т. В. Сохранение белого камня в памятниках архитектуры: учебное пособие / Т. В. Королева. – Москва : Архитектура-С, 2006.
9. Laue, H. Gefühlte Landschaftsarchitektur: Möglichkeiten der thermischen Einflussnahme in städtischen Freiräumen: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) / Hendrik Matthias Laue; Universität Kassel, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung. – Kassel, 2009.

А. В. Бортников

A. V. Bortnikov

Некоторые аспекты 3D-печати в строительстве Some aspects of 3D printing in construction

Ключевые слова: 3D-печать, строительство, архитектура

Keywords: 3D printing, construction, architecture

Аннотация. В статье приводится краткий обзор технологии 3D-печати в строительстве. Рассматриваются аспекты, влияющие на ее развитие.

Abstract. The article provides a brief overview of 3D printing technology in construction. The aspects influencing its development are considered.

Развитие цифровых технологий оказывает влияние на развитие различных сфер нашей жизни. Сокращение времени и стоимости выполнения задач при повышении качества конечного результата обуславливает все более широкое применение данных технологий.

В строительстве создание эскизов, чертежей зданий и проектной документации выполняется в электронном виде. В последнее время активно внедряются BIM-технологии, что выводит процесс проектирования зданий на новый уровень. Однако при возведении зданий строительные технологии не претерпели столь радикальных изменений, и доля ручного труда составляет значительную часть.

Существующая аддитивная технология 3D-печати из пластика и полимеров, в основу которой положен принцип послойного формирования специальным принтером объемного элемента, позволяет создавать изделия различного назначения – от сувениров до небольших деталей. В зависимости от компоновки приводов существуют 3D-принтеры порталного типа, с дельта-приводом и принтеры-манипуляторы [5]. Положи-

тельный опыт, полученный при 3D-печати небольших изделий, и поиск решений по автоматизации в строительстве привел к созданию строительных 3D-принтеров.

Как правило, в строительстве применяются принтеры порталного и манипуляторного типа. Портальный принтер представляет собой пространственную конструкцию с перемещающейся направляющей и печатающей головкой. Печать выполняется внутри контура принтера. К особенностям данных принтеров можно отнести то, что для опоры вертикальных стоек принтера необходимо устраивать жесткие основания для обеспечения точности печати и строительная площадка должна иметь запас места для установки и работы принтера. Манипуляторный принтер может устанавливаться внутри строящегося здания и печать осуществляется за счет вылета манипулятора с печатающей головкой. Для него тоже необходимо прочное основание, но в этом качестве может выступать фундамент будущего дома и перекрытия в случае многоэтажного строительства. К преимуществам данного принтера можно отнести его